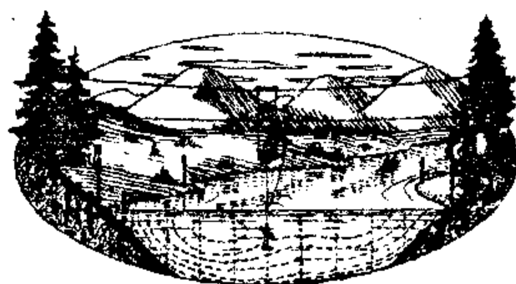
С. И. КОЛЛУПАЙЛО.
межевой инженеръ.

# ГИДРОМЕТРІЯ.

КРАТКОЕ
ТЕОРЕТИ-
ЧЕСКОЕ
и
ПРАКТИ-
ЧЕСКОЕ
РУКОВОД-
СТВО



МОСКВА
Литографія Межевого Института
1918.

# ПРЕДИСЛОВІЕ.

Въ Межевомъ Институтѣ ежегодно, начиная съ 1915 года, подъ руководствомъ проф. А.Н.Ширяева и при моемъ ближайшемъ участіи производятся полевыя практическія занятія по гидрометріи. Гидрометрическія изслѣдованія неизбѣжны въ дѣятельности инженера-изыскателя, къ которой издавна замѣчалось нѣкоторое тяготѣніе въ „старомъ“ Институтѣ. Въ настоящее время, въ виду созданія отдѣленій геодезическаго и инженерно-землеустроительнаго (культуртехническаго), гидрометріи суждено занять въ курсѣ „новаго“ Института одно изъ почетныхъ мѣстъ на-ряду съ другими специальными науками; несомнѣнно, широко разовьются и полевыя гидрометрическія изслѣдованія. Между тѣмъ въ теченіе четырехъ минувшихъ сезоновъ полевыхъ практическихъ занятій безпрестанно ощущалось отсутствіе небольшого систематическаго курса, необходимаго для интенсивнаго использованія времени и средствъ, въ особенности при нынѣшнихъ затрудненіяхъ, – отсутствіе тѣмъ болѣе обидное, что новѣйшая гидрометрическая литература богата очень цѣнными изслѣдованіями, монографіями, отчетами и т. п. трудами не только на иностранныхъ языкахъ, но и на русскомъ, какъ, напр. Jasmund'a, Epper'a, Tavernier'a и de la Brosse'a проф. Глушкова, инженеровъ Лелявскаго, Жуковскаго, Соколова, Моисеенко и др. Единственный систематическій курсъ на русскомъ языкѣ – проф. Н.Д.Тяпкина, въ которомъ подробно описаны гидрометрическіе приборы и методы производства измѣреній, представляетъ библіографическую рѣдкость, а кромѣ того, въ немъ можно найти исчерпывающее для своего времени (1901 г.) изложеніе только части предмета; водомѣрныя же наблюденія и связь ихъ съ гидрометрическими измѣреніями не включены въ этотъ курсъ.

Чтобы облегчить студентамъ Межевого Института наилучшее использованіе полевыхъ практическихъ занятій по гидрометріи, я рѣшилъ сдѣлать опытъ по составленію сжатаго руководства, опираясь на литературные матеріалы, трехлѣтній опытъ преподаванія гидрометріи на гидротехническомъ отдѣленіи Средняго Политехническаго Училища Товарищества Московскихъ Инженеровъ и Педагоговъ, и больше всего на неизмѣнно любезное и сочувственное отношеніе со стороны моего учителя по гидрометріи — профессора Петровской Сельско-Хозяйственной Академіи В.Г.Глушкова, Завѣдывающаго Гидрометрической Частью Отдѣла Земельныхъ Улучшеній, снабдившаго меня изданіями Гидр.Части и разрѣшившаго использовать даже неопубликованныя его изслѣдованія, сообщенныя на лекціяхъ въ Академіи.

При содѣйствіи проф. А.Н.Ширяева мнѣ удалось осуществить намѣченный планъ. Соглашаясь съ неизбѣжностью многихъ ошибокъ въ исполненной мною работѣ, буду надѣяться, что безпристрастная критика укажетъ мнѣ и проститъ эти ошибки, я же буду считать трудъ свой оправданнымъ, если онъ въ нѣкоторыхъ изъ молодыхъ инженеровъ-землеустроителей и геодезистовъ пробудитъ интересъ къ той области знаній, въ которой они безусловно могутъ найти почетное поприще для приложенія своихъ силъ.

Считаю долгомъ принести сердечную благодарность всѣмъ, кто такъ или иначе помогъ мнѣ въ работѣ, и прежде всего глубокоуважаемому профессору Виктору Григорьевичу Глушкову.

Колупайло.

Москва, августъ 1918 г.



# ВВЕДЕНІЕ.

Въ гидрометріи изучаются методы количественнаго опредѣленія водныхъ запасовъ въ различныхъ стадіяхъ круговорота воды въ природѣ. Гидрометрія является частью гидрологіи - науки о жизни воды на земномъ шарѣ. Въ зависимости отъ внѣшнихъ условій, въ которыхъ находится изучаемая вода, гидрологія дѣлится на нѣсколько частей; основныя изъ нихъ слѣдующія:

1) потамологія, изучающая текущія воды на земной поверхности - рѣки, ручьи, канавы и отдѣльно - ледники;

2) лимнологія, къ которой относятся условія жизни воды въ озерахъ, водохранилищахъ и вообще въ бассейнахъ замедленнаго стока;

3) океанологія, изученію которой подлежатъ моря и океаны;

4) гидрогеологія, изучающая подземныя и почвенныя воды и

5) гидрометеорологія, въ которой изучается жизнь воды въ атмосферѣ.

Въ виду сложности задачъ, предъявляемыхъ гидрометріи каждымъ изъ этихъ самостоятельныхъ отдѣловъ, дальнѣйшее изложеніе будетъ касаться почти исключительно той части гидрометріи, которая тѣснѣйшимъ образомъ связана съ научною основою проектированія сельскихъ гидротехническихъ сооруженій, системъ меліорацій, рѣчныхъ и дорожныхъ сооруженій и гидравлическихъ установокъ, а именно относящейся къ отдѣлу потамологіи и отчасти лимнологіи.

## ГЛАВА I. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЯ СВѢДѢНІЯ.

### § 1. РОЛЬ ГИДРОМЕТРІИ ВЪ СЕЛЬСКО-ХОЗЯЙСТВ. ГИДРОТЕХНИКѢ.

Сельско-хозяйств. гидротехническія работы имѣютъ цѣлью такі перераспредѣлить водные запасы отдѣльныхъ мѣстностей, чтобы создать возможно болѣе благопріятныя условія для сельско-хозяйств. культуръ, если естественный водный режимъ не удовлетворителенъ для нихъ. Изученіе наличныхъ водныхъ запасовъ заключается въ опредѣленіи количества

воды, заключенной въ водоемѣ (озерѣ, прудѣ), или протекающей въ водотокѣ (рѣкѣ, ручьѣ, канавѣ, оврагѣ), и установленіе зависимости этого перемѣннаго количества отъ различныхъ факторовъ, вліяющихъ на его величину и колебанія этой величины.

Для облегченія работы эту сложную зависимость расчленяютъ:

1) на соотношенія между гидравлическими элементами - горизонтомъ воды, продольнымъ уклономъ и живымъ сѣченіемъ, съ одной стороны, и скоростями теченія и расходомъ воды, съ другой стороны;

2) на измѣненія первыхъ элементовъ по времени.

Зависимость между гидравлическими элементами водотоковъ устанавливается гидрометрическими изслѣдованіями, имѣющими конечною цѣлью опредѣленіе расхода, т.е. количества воды, протекающаго въ единицу времени, въ различныхъ условіяхъ и, главнымъ образомъ, при различной высотѣ горизонта воды. Установленіе второй зависимости - измѣненія горизонта воды и продольнаго уклона по времени - составляетъ задачу водомѣрныхъ наблюденій.

Въ примѣненіи къ требованіямъ лимнологіи работа упрощается, такъ какъ выясненіе зависимости между высотой горизонта воды и объемомъ (запасомъ) воды въ водоемѣ основывается на топографической работѣ - съемкѣ рельефа дна. Измѣненія горизонта и въ этомъ случаѣ учитываются водомѣрными наблюденіями.

На основаніи гидрометрическихъ изслѣдованій и водомѣрныхъ наблюденій опредѣляются тѣ коэффиціенты, которые примѣняются при проектныхъ гидравлическихъ разсчетахъ гидротехническихъ сооруженій и меліораціонныхъ системъ. Гидрометрія даетъ основы, сообразно съ которыми обрабатывается гидрологическая сторона каждаго проекта вмѣшательства гидротехника въ естественный водный режимъ мѣстности.

## § 2. ЗАДАЧИ ГИДРОМЕТРІИ ВЪ РѢЧНОЙ ГИДРОТЕХНИКѢ И ДОРОЖНОМЪ СТРОИТЕЛЬСТВѢ.

На судоходныхъ рѣкахъ издавна ведутся водомѣрныя наблюденія, которыя охраняютъ безопасность плаванія судовъ. При регулированіи рѣкъ для улучшенія ихъ судоходныхъ условій, а также при проектированіи новыхъ водныхъ путей - судоходныхъ и сплавныхъ каналовъ - данныя гидрометрическихъ изслѣдованій необходимы для разсчета различныхъ сооруженій. Размѣры отверстій мостовъ и трубъ для грунтовыхъ, шоссейныхъ и желѣзныхъ дорогъ опредѣляются точно также на основаніи

гидрометрическихъ и водомѣрныхъ наблюденій, въ особенности въ отвѣтственныхъ случаяхъ. Этимъ объясняется то, что гидрометрическія изслѣдованія вводятся на-ряду съ другими изысканіями въ курсы геодезіи („Курсъ Низшей Геодезіи" проф. С.М.Соловьева, „Курсъ Геодезіи и приложенія ея къ техническимъ изысканіямъ путей сообщенія" проф. Н.А.Богуславскаго)

## § 3. СИСТЕМА НАСТОЯЩАГО РУКОВОДСТВА.

На основаніи подраздѣленія, сдѣланнаго въ § 1, дальнѣйшее изложеніе будетъ придерживаться слѣдующей системы:

I. Опредѣленіе расхода всевозможными методами:
 a) описаніе приборовъ и ихъ употребленіе,
 b) выборъ мѣста и его оборудованіе,
 c) производство измѣреній,
 d) обработка измѣреній;

II. Зависимость между величиною расхода воды и
 1) горизонтомъ воды,
 2) поверхностнымъ уклономъ и др. факторами;

III. Водомѣрныя наблюденія:
 a) описаніе устройства приспособленій,
 b) производство наблюденій,
 c) обработка ихъ.

## § 4. МЕТОДЫ ОПРЕДѢЛЕНІЯ РАСХОДА ВОДЫ.

Расходъ небольшихъ ручьевъ и ключей можетъ быть опредѣленъ непосредственно. Для этого вся вода, протекающая въ ручьѣ, должна въ теченіе нѣкотораго времени перехватываться какимъ-либо сосудомъ, напр. ведромъ, измѣрительнымъ ящикомъ; расходъ вычисляется дѣленіемъ объема на время. Для измѣренія расхода канавъ и горныхъ рѣчекъ удобно пользоваться водосливомъ или водянымъ дюймомъ. Приспособленіями этими преграждаютъ русло небольшого водотока и затѣмъ по высотѣ уровня воды, пользуясь гидравлическими формулами для истеченія воды черезъ водосливъ или отверстія въ стѣнкѣ, вычисляютъ расходъ воды. Видоизмѣненіе водослива - водяной модуль, а также и водяной дюймъ, примѣняются издавна при распредѣленіи оросительной воды: они приспособлены для опредѣленныхъ величинъ расхода.

Примѣненіе формулъ движенія воды въ открытыхъ руслахъ даетъ

возможность опредѣлять расходъ по уклону и живому сѣченію.

Для опредѣленія расхода горныхъ рѣчекъ, и, какъ показали недавніе опыты въ Россіи, даже значительныхъ рѣкъ, можетъ быть примѣненъ способъ смѣшенія. Въ потокъ вливается естественная или искусственная струя жидкости, отличающейся содержаніемъ примѣси, цвѣтомъ или температурою. По степени концентраціи примѣси, интенсивности окраски или температурѣ воды потока послѣ смѣшенія, опредѣляется расходъ потока, если извѣстенъ расходъ вливаемой струи и ея составъ, окраска или температура.

На большихъ рѣкахъ почти исключительно примѣняется методъ опредѣленія расхода по измѣреннымъ въ дѣйствительности скоростямъ теченія.

Этотъ послѣдній методъ и излагается въ первую очередь.

## *ГЛАВА II. ГИДРОМЕТРИЧЕСКІЕ ПРИБОРЫ.*

### § 5. ТИПЫ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХЪ ПРИБОРОВЪ.

Приборы, служащіе для измѣренія скоростей теченія могутъ быть раздѣлены на слѣдующія группы:

1) приборы, передвигающіеся вмѣстѣ съ водою, т.наз. поплавки; допускается, что скорость ихъ движенія равна скорости теченія воды. Скорость поплавка опредѣляется по времени и длинѣ пройденнаго пути;

2) приборы, которые вода приводитъ во вращательное движеніе, т.наз. вертушки. Давленіе движущейся воды заставляетъ вращаться лопасти (крылья) прибора, со скоростью, пропорціональной скорости воды. По числу оборотовъ лопастей въ единицу времени можно опредѣлить скорость воды, если предварительно найти нужную зависимость опытнымъ путемъ - тарированіемъ вертушки;

3) приборы, собирающіе воду въ количествѣ, зависящемъ отъ скорости, т.наз. батометры (такое названіе носятъ приборы, служащіе для взятія пробъ воды съ различныхъ глубинъ). Скорость опредѣляется по количеству воды, притекающей въ единицу времени, на основаніи предварительнаго тарированія прибора;

4) приборы, измѣряющіе давленіе движущейся воды, т.наз. динамометры. Изъ нихъ наиболѣе извѣстны гидродинамическія трубки; давленіе учитывается разностью уровней въ трубкахъ, по которой опредѣляется скорость по тарировочнымъ даннымъ.

Опредѣленіе скорости слагается изъ опредѣленія 3 элементовъ: времени, показанія прибора и тарировочныхъ данныхъ. Приборы первой группы не требуютъ тарировки, приборы послѣдней - измѣренія времени. Для наглядности эти группы приборовъ могутъ быть представлены въ слѣд. таблицѣ:

| Типъ прибора | Опредѣленіе времени | Тарировка | Показанія прибора |
|---|---|---|---|
| 1. поплавки | нужно | нѣтъ | длина пути |
| 2. вертушки | нужно | нужна | число оборотовъ |
| 3. батометры | нужно | нужна | объемъ воды |
| 4. динамометры | нѣтъ | нужна | разность уровней и др. |

## *А. ГИДРОМЕТРИЧЕСКІЯ ВЕРТУШКИ.*

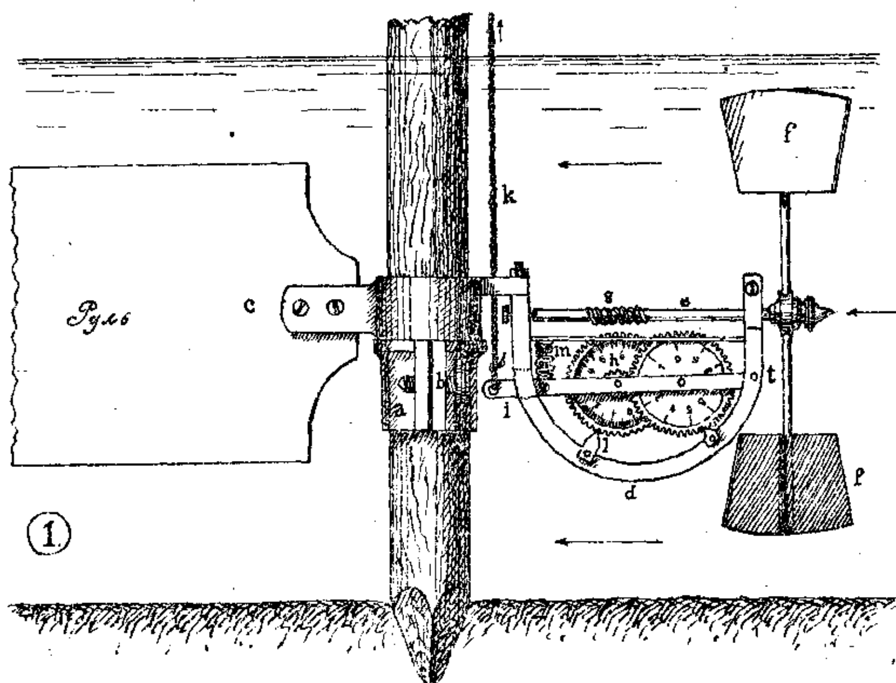
### § 5. ОПИСАНІЕ УСТРОЙСТВА ВЕРТУШКИ ВОЛЬТМАНА.

Вертушки были извѣстны уже давно. Въ 1790 г. этотъ приборъ былъ усовершенствованъ гамбургскимъ директоромъ водяныхъ сооруженій Вольтманомъ, котораго и считаютъ изобрѣтателемъ вертушки. Приборъ Вольтмана въ улучшенной формѣ употребляется по настоящее время.

Вертушка (черт. 1) состоитъ изъ лопастей ff, счетнаго механизма и руля с. Горизонтальная ось е, на которую насажены лопасти, снабжена посрединѣ безконечнымъ винтомъ g. Счетчикъ состоитъ изъ 2 зубчатыхъ колесъ, расположенныхъ на рычагѣ 1 и соединенныхъ передачею. Если потянуть шнурокъ к, то рычагъ 1 нѣсколько повернется около точки t и зубцы колеса h войдутъ въ нарѣзку безконечнаго винта g. Тогда при каждомъ оборотѣ оси е съ безконечнымъ винтомъ зубчатое колесо h будетъ поворачиваться на 1 зубецъ. Полный оборотъ колеса h соотвѣтствуетъ 100 оборотамъ лопастей. Сотни оборотовъ учитываются по другому зубчатому колесу, которое дѣлаетъ 1 оборотъ въ то время, когда колесо h дѣлаетъ 10 оборотовъ. Отсчеты по зубчатымъ колесамъ производятся противъ указателей, прикрѣпленныхъ къ подковообразной рамѣ d - по указателю 1 - десятки и единицы, по другому - сотни оборотовъ.

Лопасти вертушки Вольтмана состоятъ изъ 2, 3 или 4 пластинокъ въ формѣ трапецій ff, со сторонами около 2-3 см., прикрѣпленныхъ при

# Вертушка Вольтмана.




помощи стерженьковъ къ горизонтальной оси. Пластинки наклонены къ плоскости вращенія стерженьковъ на уголъ въ 15-35-45-55°. Для измѣренія незначительныхъ скоростей берутся лопасти съ 4 большими крыльями, круто наклоненными; для большихъ же скоростей, съ цѣлью уменьшенія скорости вращенія, предпочитаются лопасти двукрылыя, небольшого размѣра и съ небольшимъ угломъ наклона.

При помощи муфты a и зажимного винта b вертушка прикрѣпляется къ штангѣ. Иногда вертушка можетъ свободно вращаться вокругъ штанги и устанавливаться противъ теченія при посредствѣ руля. Штанги бываютъ деревянныя и металлическія-трубчатыя, съ діаметромъ отъ 2 до 4 и даже до 6 см., длиною обычно въ 2 метра; при большей длинѣ - до 6 метровъ - штанга дѣлается составною. На штангу наносятся дѣленія, по которымъ можно устанавливать вертушку на желаемой высотѣ. Чтобы штанга не погружалась въ дно, она часто снабжается внизу башмакомъ въ видѣ диска или крестовины. Къ верхней части штанги прикрѣпляется визиръ для установки вертушки въ заданной плоскости.

## § 7. УПОТРЕБЛЕНІЕ ВЕРТУШКИ ВОЛЬТМАНА.

Вертушка устанавливается на штангѣ на нужной высотѣ, затѣмъ дѣлается отсчетъ по счетчику, который долженъ быть выключенъ (т.е. зубчатое колесо h разъединено съ безконечнымъ винтомъ), и штанга опускается въ воду. Если вертушка прикрѣплена къ штангѣ наглухо, то при помощи визира ее устанавливаютъ лопастями противъ теченія, если же она свободно вращается въ горизонтальной плоскости, то въ это положеніе ее приводитъ руль. Когда вертушка такъ установлена, крѣпко натягиваютъ шнуръ к, держатъ въ продолженіе нѣкотораго времени, напр. 1 минуты, и затѣмъ отпускаютъ. Тогда пружина m заставляетъ рычагъ i съ зубчатыми колесами отойти отъ безконечнаго винта; такимъ образомъ выключается счетчикъ. Послѣ этого вертушка со штангою вынимается изъ воды и по счетчику дѣлается второй отсчетъ. Разность отсчетовъ дастъ число оборотовъ вертушки во время наблюденія, т.е. въ 1 минуту.

Скорость воды v опредѣляется по формулѣ

$$v = \alpha + \beta n \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

гдѣ $\alpha$ - та наименьшая скорость, при которой перестаютъ вращаться лопасти вертушки вслѣдствіе сопротивленія тренія осей, и слѣд. наименьшая скорость, которая можетъ быть измѣрена вертушкою; ее называютъ чувствительностью вертушки - она тѣмъ меньше, чѣмъ совершеннѣе построенъ приборъ.

$\beta$ - цѣна одного оборота лопастей: это - величина постоянная, опредѣляемая для каждой вертушки.

$n$ - число оборотовъ лопастей вертушки въ 1 секунду; $n = \frac{N}{t}$;

здѣсь N - число оборотовъ во время наблюденія, продолжавшагося t сек.

Значенія коэффиціентовъ $\alpha$ и $\beta$ опредѣляются тарировкою (см. §§ 20-23).

## § 8. НЕДОСТАТКИ ВЕРТУШКИ ВОЛЬТМАНА.

Недостатки вертушекъ съ механическимъ счетчикомъ слѣдующіе:

1. вертушку со штангою приходится послѣ каждаго выключенія счетчика вынимать изъ воды для того, чтобы сдѣлать отсчетъ; на это тратится много времени;

2. при быстромъ теченіи шнуръ к такъ уносится теченіемъ, что

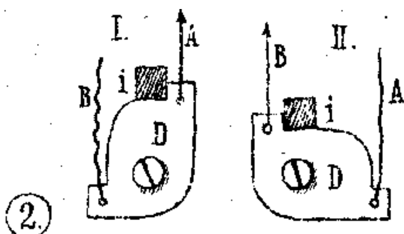
включеніе и выключеніе счетчика становится ненадежнымъ;

3. при незначительномъ теченіи включеніе счетчика сильно вліяетъ на равномѣрность вращенія лопастей;

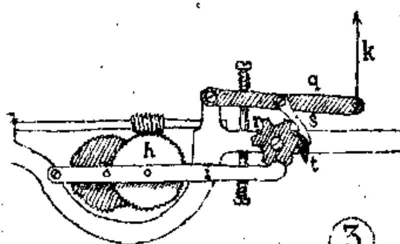
4. когда вертушка опущена въ воду, нѣтъ увѣренности въ томъ, работаетъ ли вертушка. Плывущія въ водѣ растенія часто обвиваются вокругъ лопастей или попадаютъ въ счетчикъ. Послѣ того какъ приборъ вынутъ изъ воды, можно его очистить и повторить наблюденіе; если же остановка или замедленіе работы было лишь временнымъ, ошибка въ опредѣленіи скорости не будетъ устранена.

## § 9. УСОВЕРШЕНСТВОВАНІЯ ВЕРТУШКИ.

Нѣкоторые изъ указанныхъ недостатковъ были устранены многочисленными усовершенствованіями вольтмановской вертушки. Такъ, чтобы сдѣлать болѣе надежнымъ включеніе и выключеніе счетчика, и чтобы въ продолженіе всего наблюденія не держать натянутымъ шнурокъ, были приспособлены 2 шнурка, которые даютъ возможность поворачивать неравноплечій кулачекъ D (черт.2), прикрѣпленный сбоку рамы. Этотъ кулачекъ въ положеніи I поднимаетъ рычагъ i (съ зубчатыми колесами счетчика) и прижимаетъ колесо къ безконечному винту. Въ положеніи II пружина возвращаетъ рычагъ i въ то положеніе, когда счетчикъ выключенъ.




Иначе это приспособленіе сконструировано въ вертушкѣ Амслера-Лаффона. Кулачекъ замѣненъ шестизубчатымъ колесомъ r (черт.3), которое подергиваніемъ шнурка k при посредствѣ рычага q и двухъ собачекъ s и t, насаженныхъ на одну ось, передвигается постепенно такимъ образомъ, что счетчикъ попеременно то включается, то выключается, и это достигается однимъ только шнуркомъ. Въ промежуткѣ между натягиваніемъ шнурка, онъ можетъ быть свободно отпущенъ, т.к. механизмъ



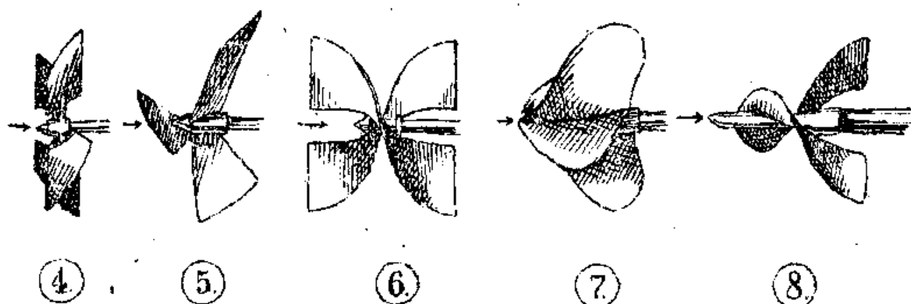
этотъ работаетъ надежно.

Чтобы теченіе не уносило шнура, его иногда проводятъ внутри трубчатой штанги. Тогда штанга должна имѣть продольную щель, въ которую проходитъ рычагъ q.

Дальнѣйшія усовершенствованія были направлены на улучшеніе формы лопастей. Наклонныя пластинки вертушки Вольтмана замѣнены различными криволинейными поверхностями. Баумгартенъ впервые устроилъ лопасти винтовыя (гелиссоидальныя) (черт.4,5 и 6). Вертушка съ такими лопастями дѣйствуетъ уже при такой скорости, когда

***Лопасти вертушекъ:***

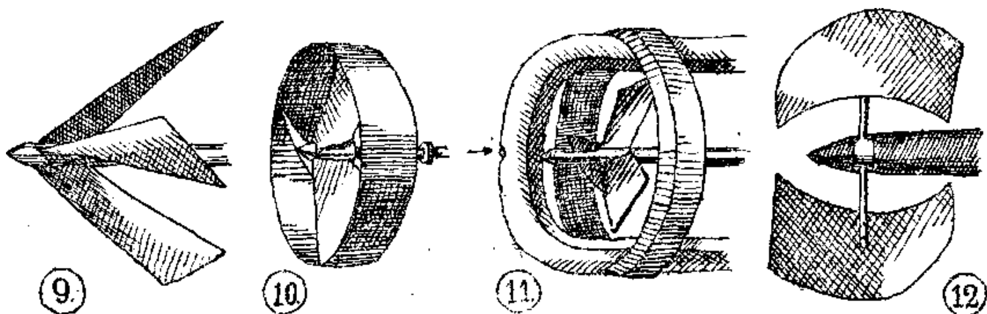
***Баумгартена, Амслера-Лаффона, Гаскелля, Гайоша.***




одинъ оборотъ продолжается 3-4 сек., въ то время какъ вертушка съ плоскими лопастями перестаетъ вращаться при 2 оборотахъ въ секунду. Венгерскій инженеръ Гайошъ предложилъ строить лопасти по параболѣ двойной кривизны (черт.8). Такія лопасти при вращеніи описываютъ параболоидъ; онѣ приближаются къ бураву, т.е. винту съ возрастающимъ шагомъ. Лопасти въ формѣ бурава, какъ доказано, обладаютъ наибольшею чувствительностью. Къ лопастямъ этого типа принадлежатъ также лопасти системы Гаскелля (америк.) (черт.7) и Шмидта (черт.9).

Достоинствомъ гелиссоидальныхъ лопастей Амслера и параболическихъ Гайоша является еще то, что производящая криволинейныхъ поверхностей остается все время перпендикулярной къ оси вертушки; если такія лопасти поставить осью поперекъ теченію, то онѣ совершенно не будутъ вращаться; слѣдовательно, при косомъ теченіи, не совпадающемъ съ направленіемъ оси вертушки, такія лопасти будутъ учитывать не дѣйствительную скорость v', а проекцію скорости на ось вертушки v, что имѣетъ очень важное значеніе, какъ изложено ниже. У другихъ типовъ лопастей для устраненія вліянія косыхъ и боковыхъ теченій въ нѣкоторыхъ случаяхъ лопасти окружаются цилиндрическимъ ободкомъ, прикрѣпленнымъ или къ лопастямъ (вертушка Баумгартена

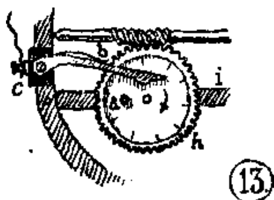
черт.10) или къ рамѣ вертушки (малая вертушка Отта, черт. 11). Лопасти проф. Шмидта отличаются тѣмъ, что ихъ тарировочная кривая очень близка къ прямой (см. ниже).



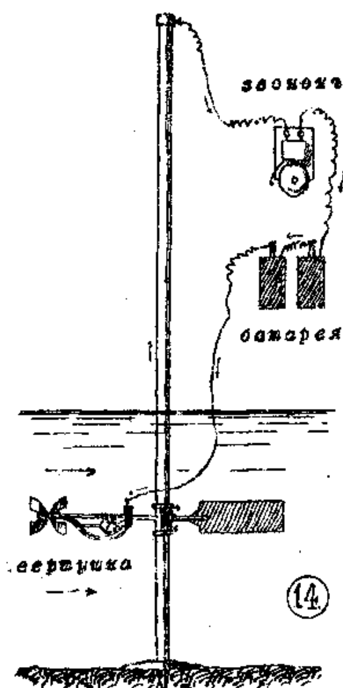

У большинства новыхъ вертушекъ лопасти насажены непосредственно на ось вертушки, и только у нѣкоторыхъ большихъ вертушекъ лопасти прикрѣплены къ стерженькамъ, напр. у Гарлахера (черт. 4 и 12). Предпочтеніе первому способу соединенія лопастей съ осью вертушки отдано потому, что въ этомъ случаѣ образуется меньше водоворотовъ, вызываемыхъ неодинаковою скоростью движенія различно удаленныхъ отъ оси точекъ лопастей.

## § 10. ПРИМѢНЕНІЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИГНАЛИЗАЦІИ.

Чтобы возможно было контролировать работу вертушки подъ водою, Амслеръ-Лаффонъ приспособилъ электрическую сигнализацію. На колесѣ счетчика h онъ устроилъ штифтикъ a (черт.13), который при вращеніи колеса одинъ разъ во время полнаго его оборота касается пружины или рычажка b, прикрѣпленнаго къ рамѣ вертушки при посредствѣ изолирующей каучуковой прокладки c. Эта пружина соединена изолированною проволокою съ батареею и электрическимъ звонкомъ. Вторая проволока




идетъ отъ звонка къ какой-либо металлической части вертушки или къ штангѣ, если она металлическая; тогда токъ можетъ проходить до колеса h и штифтика a. Въ то время, когда происходитъ соприкасаніе штифтика a съ рычажкомъ b или пружиною, цѣпь замыкается и дѣйствуетъ звонокъ. Такимъ образомъ послѣ каждаго оборота колеса h наблюдатель слышитъ звонокъ и можетъ по часамъ контролировать




правильность работы вертушки. Устройство электрической сигнализацiи даетъ возможность совершенно не пользоваться колеснымъ счетчикомъ, такъ какъ можно измѣрять время t, въ которое лопасти сдѣлаютъ опредѣленное число оборотовъ (между звонками), напр. 100.

Число оборотовъ въ секунду $n = \frac{100}{t\ \text{сек}}$

Механическiй счетчикъ оказывается излишнимъ. Колесо со штифтикомъ дѣлается очень маленькимъ и помѣщается въ коробкѣ, плотно закрываемой задвижкою, такъ что вода, песокъ и растенiя не имѣютъ доступа къ контактамъ. У такихъ вертушекъ (системы Амслера, Отта и др.) замыканiе тока происходитъ черезъ 25,50 или 100 оборотовъ лопастей. Во время наблюденiя не удовлетворяются измѣренiемъ времени между двумя послѣдовательными звонками, а выжидаютъ нѣсколько звонковъ; тогда по промежуткамъ времени между звонками судятъ о равномѣрности вращенiя вертушки и о характерѣ движенiя (пульсацiи, см. ниже). При наблюденiи принято замѣчать моментъ окончанiя каждаго звонка, т.к. его всегда легче отмѣтить, чѣмъ начало звонка, часто неожиданное.

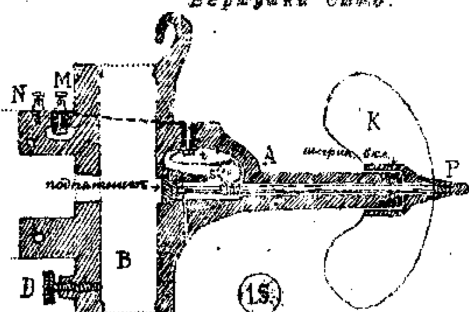
Крупнымъ достоинствомъ электрической сигнализацiи является то, что вертушку не надо вынимать изъ воды для отсчитыванiя и осмотра счетчика. Если вертушку не закрѣплять на штангѣ, а подвѣсить на троссѣ (канатѣ или проволокѣ), то разъ установивъ штангу въ данной вертикали, вертушку спускаютъ поочередно на различную глубину, опредѣляя послѣднюю по троссу.

Кромѣ электрической сигнализацiи въ послѣднее время находитъ примѣненiе акустическая передача при посредствѣ телефона, которая особенно удобна для контроля непрерывнаго. На ось вертушки насаживается эксцентрикъ или штифтикъ, при каждомъ оборотѣ оси касающiйся контакта у стѣнки камеры, въ которую заключена ось. Каждое касанiе отмѣчается въ телефонѣ отчетливымъ ударомъ; по равномѣрности промежутковъ между ударами судятъ о правильности работы вертушки. Для

опредѣленія скорости, устраивается обычная электрическая сигнализація черезъ какое-либо число оборотовъ.

По предложенію Гайоша можетъ быть устроена автоматическая регистрація оборотовъ вертушки: вмѣсто телефона въ цѣпь включается аппаратъ Морзе или хронографъ, отмѣчающій на бумажной лентѣ одновременно время и моменты замыканія тока; для цѣлей практики это усовершенствованіе, нѣсколько громоздкое, излишне, но для научныхъ изслѣдованій оно является чрезвычайно цѣннымъ, т.к. устраняетъ личныя ошибки наблюдателей.

Для уменьшенія тренія осей вертушки теперь часто примѣняются шариковые вкладыши изъ прочнаго никеллеваго сплава, которые поддерживаютъ ось спереди, со стороны лопастей; ось вертушки дѣлается возможно длиннѣе и упирается концомъ въ агатовую пластинку (черт.15).



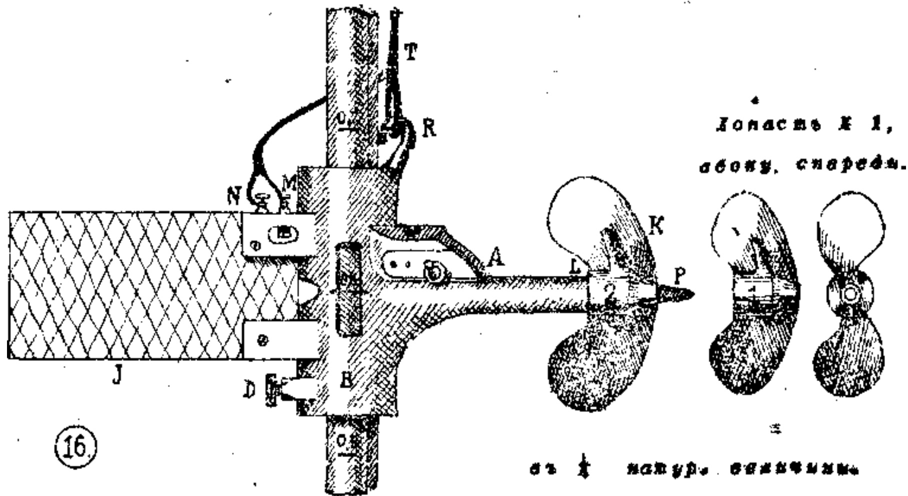

Многія изъ усовершенствованій вертушки обязаны вѣнскому проф.Гарлахеру, который съ 1881 года поручилъ дальнѣйшую разработку фирмѣ А. Отта въ Кемптенѣ (Баварія). Вертушки Отта пользуются широкимъ распространеніемъ въ Россіи; поэтому въ слѣд.§ приведено детальное описаніе одного изъ типовъ вертушки Отта.

## § 11. ОПИСАНІЕ УСТРОЙСТВА ВЕРТУШКИ ОТТА.

Собственно вертушка (черт.16) состоитъ изъ плоской камеры А, насквозь черезъ которую пропущена ось вертушки съ параболическими бронзовыми никеллированными лопастями К.

Лопасти съемныя; онѣ могутъ быть замѣнены другими, построенными по болѣе крутой или плавной кривой, въ зависимости отъ требованій работы. Лопасти насаживаются на ось вмѣстѣ съ муфтою L и закрѣпляются гайкой Р. Камера А соединяется съ муфтою В, которая можетъ передвигаться по штангѣ С и закрѣпляться на ней въ любой точкѣ при помощи винта D. Муфта не имѣетъ произвольнаго вращенія вокругъ штанги: штанга дѣлается овальною, или круглая снабжается выступомъ з (черт. 17 а и d) проходящимъ вдоль всей штанги; соот-

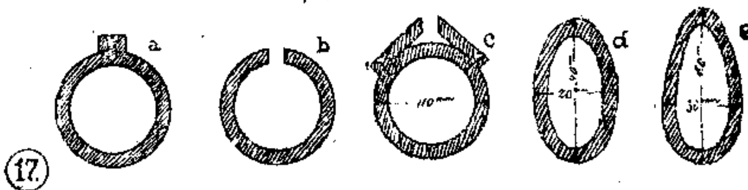
## Вертушка Отта, типъ IVв




вѣтствующіе прорѣзы сдѣланы въ муфтѣ В *).

Длина муфты В такова, что колебанія вертушки въ вертикальномъ направленіи также исключены. Такимъ образомъ вертушка не можетъ са-

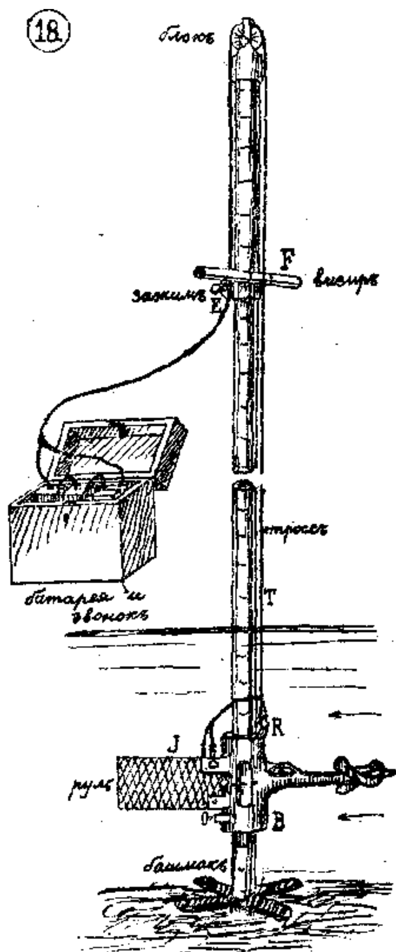
## Типы сѣченій штангъ.




ма установиться, а приводится въ надлежащее положеніе наблюдателемъ при помощи визира F ( часто въ формѣ трубки (черт.18), играющей

---

*) *У другихъ вертушекъ, напр. Вѣнскаго Гидрографич. Бюро (работы Крафта) направляющій выступъ замѣняетъ продольная щель въ штангѣ (черт.17, b); этимъ устройствомъ, однако, уменьшается сопротивленіе штанги. При работахъ на Рейнѣ штанга имѣла устройство (черт.17, c), діаметръ штанги – 11 см., толщина стѣнокъ – 1 см. Такую штангу можно было примѣнять при глубинахъ до 10 метр., безъ замѣтнаго дрожанія штанги. Въ настоящее время лучшія штанги изготовляются изъ цѣльнотянутой трубы (безъ шва) по способу Маннесмана съ яйцевиднымъ сѣченіемъ (черт.17, e.).*




роль ручекъ, за которыя держатъ штангу); визиръ этотъ перпендикуляренъ къ оси вертушки. Хотя вертушка и снабжена рулемъ J, но онъ играетъ роль лишь противовѣса. Въ муфтѣ B имѣется прорѣзъ съ указателемъ, по которому приборъ можетъ устанавливаться на штангѣ; штанга раздѣлена на дециметры.

Ось вертушки вращается очень легко; около лопастей она опирается на шарики, другимъ концомъ упирается въ подпятникъ съ агатовою пластинкою, такъ что тренiе сведено до минимума. На ось насаженъ безконечный винтъ, вращающiй зубчатое колесо съ 25 или 50 зубцами. Къ этому колесу прикрѣпленъ штифтъ S (черт.15) прикасающiйся при вращенiи колеса къ пружинному контакту t, изолированному отъ металлическихъ частей вертушки и соединенному съ зажимомъ для провода M. Другой проводъ соединяется съ зажимомъ N, который можетъ быть прикрѣпленъ къ любой металлической части вертушки. Камера A закрывается задвижкою, однако доступъ воды не исключенъ совершенно.

Вертушкою можно работать не закрѣпляя ея на штангѣ, а подвѣшивая на троссѣ T за крюкъ R. Троссъ проходитъ черезъ блокъ вверху штанги и закрѣпляется зажимомъ около визира F. Внутри тросса уложены двѣ изолированныхъ проволоки, которыя соединяются съ зажимами M и N, а другимъ концомъ соотвѣтственно со звонкомъ и батареею; одинъ проводъ соединяется съ угольнымъ полюсомъ сухого элемента; цинковый полюсъ этого элемента соединяется съ угольнымъ другого; отъ цинкового полюса послѣдняго проводъ идетъ къ одному изъ зажимовъ электр. звонка, съ другимъ зажимомъ соединяется второй изъ проводовъ звонка.

Штанга діаметромъ въ 2-4 см. можетъ имѣть въ длину 4-6 метровъ; она состоитъ изъ отдѣльныхъ частей длиною въ 1½ - 2 м., наращиваемыхъ по мѣрѣ надобности.

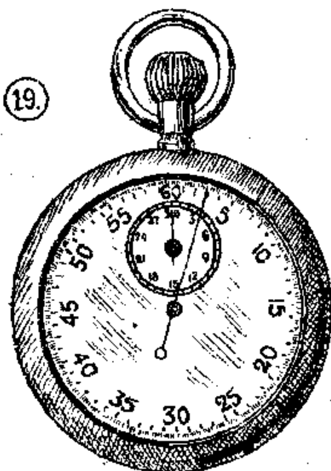
Таково устройство вертушки Отта средней величины (типъ IV), примѣняемой, между прочимъ, на полевой практикѣ Межевого Института.

## § 12. УПОТРЕБЛЕНІЕ ВЕРТУШКИ ОТТА.

Когда вертушка собрана и провода надлежаще соединены, штанга опускается въ воду. Если на данной вертикали предстоитъ только одно измѣреніе скорости, то вертушка предварительно закрѣпляется на штангѣ на необходимой высотѣ. При послѣдовательномъ измѣреніи скоростей на различныхъ глубинахъ одной вертикали, выгоднѣе не закрѣплять вертушку, чтобы ее каждый разъ не вынимать изъ воды. Тогда, по установкѣ штанги, вертушку при посредствѣ тросса опускаютъ такъ, чтобы ось ея касалась поверхности воды. На троссѣ у зажима Е замѣчаютъ отсчетъ (если троссъ размѣченъ) или дѣлаютъ мѣтку. Послѣ этого отпускаютъ троссъ настолько, чтобы вертушка погрузилась на необходимую глубину, и закрѣпляютъ зажимомъ Е. Послѣ измѣренія скорости въ этой точкѣ, вертушку передвигаютъ на другую глубину и т.д., не вынимая штанги изъ воды.

Когда вертушка установлена, даютъ ей возможность успокоиться, пропустивъ 1-2 звонка, и затѣмъ приступаютъ къ измѣренію времени между звонками.

Наиболѣе удобнымъ для учета времени при этой работѣ является секундомѣръ или хроноскопъ (черт.19). Это - карманные часы съ большою секундною стрѣлкою. Циферблатъ снабженъ дѣленіями отъ 0 до 60 сек., черезъ 0,2 сек. Минуты отсчитываются по дополнительному малому циферблату. Если нажать на кнопку секундомѣра (головку для завода пружины) то секундная стрѣлка приходитъ въ движеніе. Второе нажатіе на эту же кнопку останавливаетъ стрѣлку, а третье - возвращаетъ ее на 0. Этотъ приборъ даетъ возможность опредѣлять время, съ точностью до 0.1 сек. Въ концѣ одного изъ



звонковъ наблюдатель пускаетъ въ ходъ секундную стрѣлку и затѣмъ, въ концѣ слѣдующихъ звонковъ, не останавливая стрѣлки („на-лету") дѣлаетъ отсчеты. Выждавъ необходимое время (объ этомъ ниже) наблюдатель въ концѣ одного изъ звонковъ задерживаетъ стрѣлку секундомѣра и дѣлаетъ послѣднiй отсчетъ.

## О Б Р А З Е Ц Ъ   З А П И С И.

*Р. Яуза, мостикъ у завода Крувокъ. 6 мая 1917 г. вертушка № 1899, м.1.*

| № вертикали и ея глубина | Глубина точки | 1) Отсчеты по секундомеру<br>2) разности между отсчетами | Среднее число оборотовъ въ сек. | Скорость v |
|---|---|---|---|---|
| 4,2<br>(0.43 м) | 0.20 | 0 16.0 32.4 49.6 5.6 22.0<br>разн. 16.0 16.4 17.2 16.0 16.4 17.0<br><br>39.0 55.4 11.4 28.8 45.6 3.0<br>разн. 16.0 16.2 17.2 16.8 17.4<br><br>$4^m 20^s.4$<br>17.4 | 1.497 | $0^m.379$<br>$0^s.18$ |

Въ приведенномъ примѣрѣ, промежутки между звонками колеблются отъ 16.0 до 17.4 сек.; при этомъ, однако, надо имѣть въ виду, что промежуточные отсчеты дѣлались „на-лету", и въ нихъ входятъ ошибки отсчетовъ (около 0.3 - 0.5 сек.) *) Такъ какъ вертушка, которою

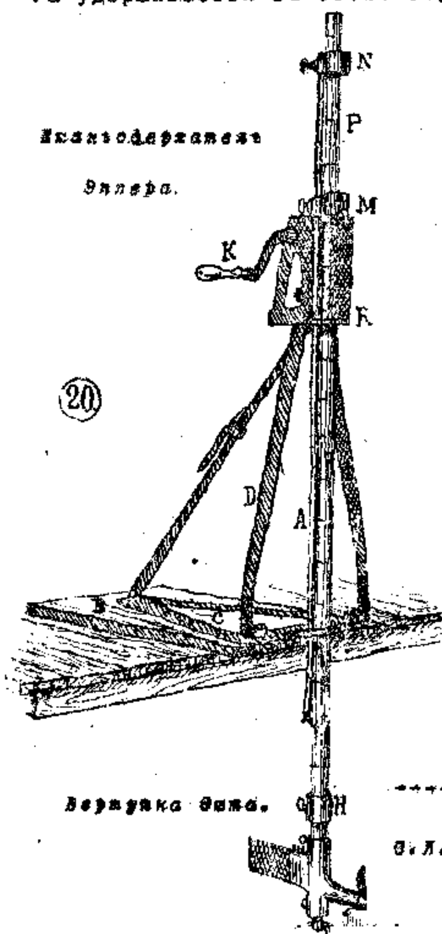
---

*) *Удобно пользоваться при такой работѣ секундомѣромъ съ двумя стрѣлками, одну изъ нихъ останавливаютъ въ концѣ каждаго промежуточнаго звонка; когда отсчетъ сдѣланъ, ее отпускаютъ и она догоняетъ первую стрѣлку.*

произведено измѣреніе, даетъ сигналы черезъ 25 оборотовъ лопастей, то всего за время $3^m\ 20{,}^s4$ лопасти сдѣлали 12 × 25, т.е. 300 оборотовъ. Число оборотовъ можетъ быть получено или дѣленіемъ 300 на время $200{,}^s4$, или дѣленіемъ 25 на среднее изъ промежутковъ между 2 звонками.

## § 13. ВЕРТУШКА НА ПОДВѢСНОЙ ШТАНГѢ.

Описанный въ § 12 способъ установки штанги вертушки, когда штанга устанавливается неподвижно на днѣ рѣки, примѣняется въ Германіи и Австріи и носитъ названіе метода Гарлахера, т.к. разработанъ проф. Гарлахеромъ при его работахъ на Эльбѣ и Дунаѣ. Въ Швейцаріи, Франціи, Соед. Штатахъ и въ Россіи (при работахъ по изслѣдованію водныхъ путей сообщенія) примѣняется методъ Эппера, заключающійся въ томъ, что вертушка закрѣпляется неподвижно у конца штанги и вмѣстѣ со штангою опускается на необходимую глубину. Штанга удерживается въ этомъ случаѣ въ вертикальномъ положеніи особымъ




Штангодержатель Эппера.

Вертушка Отта.

приспособленіемъ, т.наз. штангодержателемъ. Штангодержатель удобно устанавливать на понтонѣ или на мосту: тогда методъ Эппера имѣетъ свои достоинства. При большой глубинѣ и особенно при большихъ скоростяхъ штанга сильно дрожитъ, отчего замѣтно уменьшается точность работы. Въ такихъ случаяхъ приходится для достиженія необходимой жесткости штанги подтягивать ее 2-3 тросами. Штангодержатель системы Эппера (черт.20) состоитъ изъ трехъ металлическихъ ножекъ, одна изъ которыхъ раздвижная, двухъ муфтъ M и N и приспособленія для опусканія и поднятія штанги: къ муфтѣ N прикрѣпленъ стержень A, къ нижнему концу котораго прикрѣпляется тросъ, который наматывается на валъ рукояткою K. При работѣ на сибирскихъ рѣкахъ сооружался

деревянный штангодержатель простой системы.

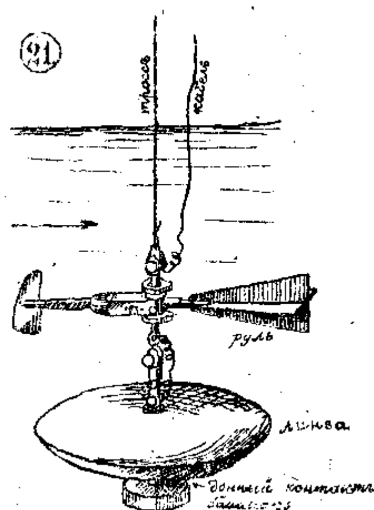
Для работы со штангодержателемъ пригодно большинство штанговыхъ вертушекъ: есть и специально приспособленныя только для метода Эппера: у нихъ муфта вертушки наглухо соединена со штангою и провода сигнализацiи пропущены внутри штанги. Часто у такихъ вертушекъ контактное устройство помѣщается позади штанги (у руля), т.к. ось можетъ быть пропущена насквозь штанги (черт.20).

Методъ Эппера слѣдуетъ примѣнять на рѣкахъ съ легко размываемымъ русломъ: если вертушку опереть о дно, могутъ произойти за время наблюденiя замѣтныя измѣненiя въ очертанiяхъ профиля дна.

## § 14. ВЕРТУШКА НА ТРОССѢ.

Штанги могутъ примѣняться для установки вертушки только при глубинѣ воды до 2-3 саж. (въ единичныхъ случаяхъ удавалось работать даже при 5 саж. глубинѣ). На рѣкахъ большей глубины штанга замѣняется троссомъ, на которомъ вертушка опускается въ воду.

*Вертушка Амслера-Лаффона*



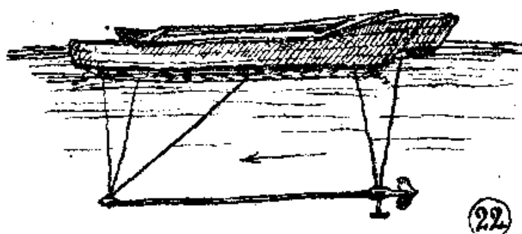

Вертушки въ этомъ случаѣ отличаются отъ штанговыхъ тѣмъ, что ихъ нельзя устанавливать по желанiю наблюдателя, а онѣ сами при посредствѣ руля располагаются противъ теченiя. Въ болѣе старыхъ приборахъ, напр. Амслера-Лаффона (черт.21) вертушка соединена съ троссомъ при посредствѣ кардановскаго шарнира, т.е. можетъ поворачиваться какъ въ горизонтальной плоскости, такъ и въ нѣкоторыхъ предѣлахъ въ вертикальной. Чтобы теченiе не уносило вертушку, снизу къ ней приспособленъ тяжелый грузъ (чугунная гиря въ формѣ линзы, вѣсомъ въ 2-3 пуда, иногда даже до 6-8 пудовъ). Глубина погруженiя вертушки опредѣляется по длинѣ отпущеннаго тросса, на которомъ подвѣшена вертушка. Моментъ, когда грузъ достигнетъ дна, наблюдатель узнаетъ по сигналу, даваемому доннымъ контактомъ, устроеннымъ между линзой и башмакомъ.

Крупнымъ недостаткомъ вертушки на троссѣ является то, что она измѣряетъ дѣйствительную скорость въ той точкѣ, гдѣ она установле-

на, между тѣмъ, какъ это указано ниже, для опредѣленія расхода необходимо измѣрять проекціи скоростей на плоскость, перпендикулярную къ плоскости сѣченія рѣки. Единственнымъ средствомъ для устраненія этой произвольности установки вертушки на троссѣ можетъ служить примѣненіе нѣсколькихъ троссовъ, на которыхъ подвѣшивается вертушка, прикрѣпленная къ концу длинной горизонтальной штанги, какъ это практиковалось въ 90-хъ годахъ на Эльбѣ (черт.22).

Однако, такое приспособленіе слишкомъ громоздко, и въ новыхъ конструкціяхъ добиваются лишь того, чтобы вертушка не имѣла произвольнаго вращенія въ вертикальной плоскости, въ горизонтальной же плоскости установка производится длиннымъ рулемъ, сдѣланнымъ изъ тяжелой штанги, которая въ водѣ устанавливается горизонтально (вертушка Отта, черт.23). Недостатокъ послѣдней вертушки тотъ, что ею нельзя измѣрять скорости ближе, чѣмъ на 50 см. ко дну. Другія конструкціи, напр. Альбрехта (черт.24) даютъ возможность опускать вертушку почти до дна; въ вертушкѣ Альбрехта грузъ замѣненъ тяжелою рамой, служащей одновременно рулемъ. Вертушка Ранзера (черт.25) имѣетъ тяжелый корпусъ въ формѣ торпеды съ длиннымъ рулемъ, и точно также не нуждается въ грузѣ.

*Вертушка на горизонтальной штангѣ.*




*Вертушка Отта.*

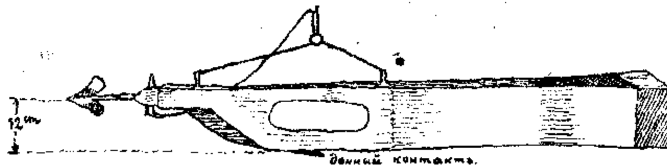
50 см

23

Всѣ указанныя вертушки подвѣшиваются на одномъ троссѣ, который одновременно служитъ кабелемъ, т.к. въ стальную проволоку вплетены изолированные проводы отъ контакта счетчика, а также отъ „донного контакта".

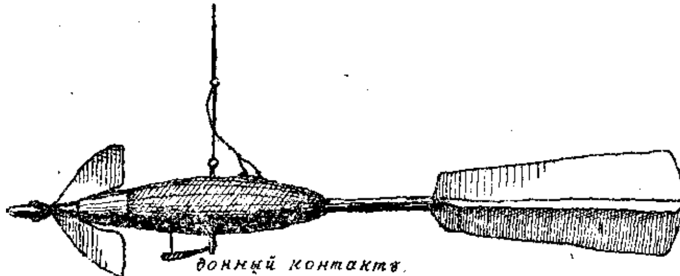
*Вертушка Альбрехта.*

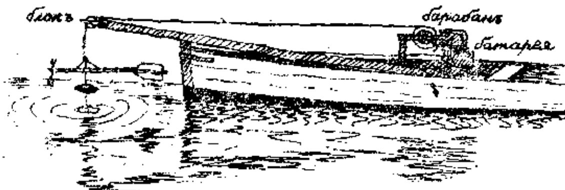
(24)




*Вертушка Гаккбра.*

(25)




(26)

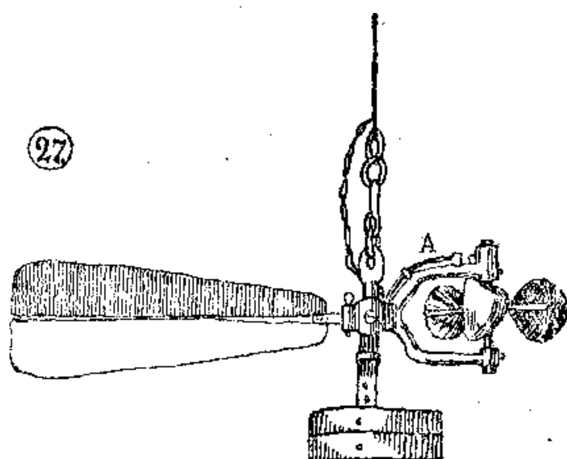
Тросъ отъ вертушки проводится черезъ блокъ, прикрѣпленный къ парому, лодкѣ (черт.26) или мосту, и затѣмъ наматывается на барабанъ; по длинѣ троса или по числу оборотовъ рукоятки барабана опредѣляется глубина погруженія вертушки.

## § 15. ВЕРТУШКИ СЪ ВЕРТИКАЛЬНОЮ ОСЬЮ.

Замѣтно отличаются по конструкціи примѣняемыя въ Соед.Штатахъ вертушки Прайса съ вертикальною осью вращенія лопастей.

Вертушка Прайса изобрѣтена въ 1885 г. и благодаря простотѣ и прочности устройства широко распространена въ Америкѣ. Лопасти у этой вертушки (черт.27) замѣнены чашками, вращающимися вокругъ вертикальной оси, аналогично съ анемометромъ Робинзона, служащимъ для измѣренія скорости вѣтра. Чашки имѣютъ форму полушарій, конусовъ или параболоидовъ, числомъ 4, 5 или 6, скрѣпленныхъ особой

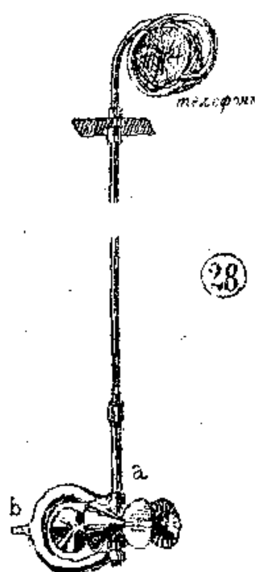
*Вертушка Прайса.*




рамои. Чашки и водшипники вертикальной оси имѣют солидную конструкцію, что дѣлаетъ вертушку Прайса незамѣнимою при измѣреніяхъ въ мутной водѣ горныхъ рѣчекъ, несущей гальку и даже крупные камни.

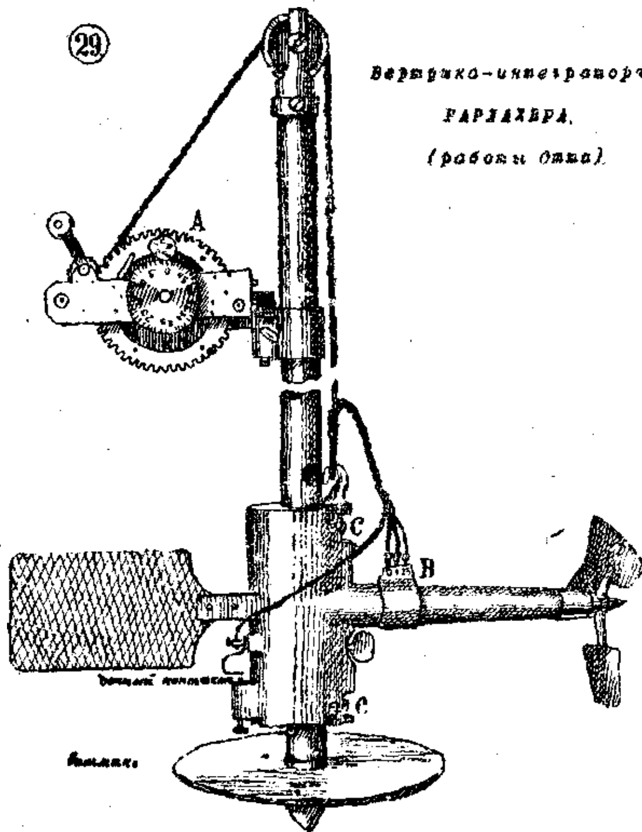
Особенностью примѣненія вертушки въ С.Штатахъ является то, что тамъ почти исключительно вертушка подвѣшивается на тросѣ или же спускается на концѣ штанги (по методу Эппера, но безъ штангодержателя). Такъ какъ лопасти имѣютъ свободное вращеніе въ горизонтальной плоскости, то значеніе штанги для установки вертушки въ опредѣленномъ положеніи въ этомъ случаѣ не оправдывается. Руль служитъ лишь для установки въ опредѣленномъ направленіи рамы прибора А, а также для приданія вертикальности оси вертушки при большихъ скоростяхъ.

*Вертушка Прайса съ телефономъ.*




Обычно у вертушекъ Прайса примѣняется акустическая сигнализація: черезъ 10-25 оборотовъ оси происходитъ замыканіе тока, передаваемое въ телефонъ (черт.28). Нѣкоторые типы этихъ вертушекъ интересны тѣмъ, что одну и ту же вертушку можно использовать для работы всѣми тремя методами (на неподвижной штангѣ, подвѣсной штангѣ и на тросѣ), для этого вертушка можетъ прикрѣпляться къ концу штанги (чер.28,а) или къ троссу, причемъ къ стерженьку b привинчивается руль и грузъ, или же прикрѣпляться при помощи особой муфты къ штангѣ на любой высотѣ.

## § 16. Интеграціонное приспособленіе.



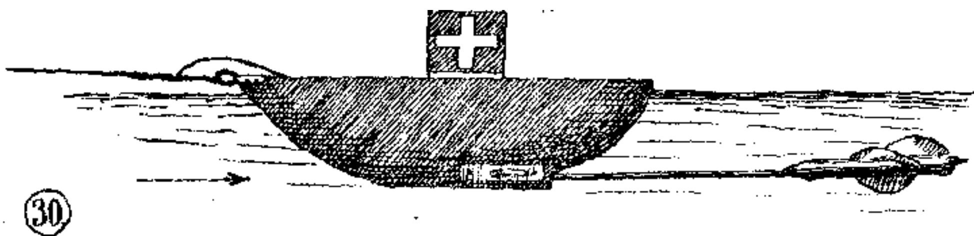

*Вертушка-интеграторъ ГАРЛАХЕРА. (работы Отта).*

Для измѣренія средней скорости по вертикали проф. Гарлахеръ предложилъ „интеграціонный" методъ, заключающійся въ томъ, что во время наблюденія вертушка плавно поднимается или опускается по вертикали. Для достиженія необходимой плавности Гарлахеръ приспособилъ валъ А (черт. 29), на него наматывается тросъ, на которомъ подвѣшена вертушка; муфта вертушки снабжается особыми роликами, облегчающими скольженіе ея по штангѣ. Валъ при посредствѣ передаточнаго механизма вращаютъ рукояткой. Длина отпущеннаго или намотаннаго троса опредѣляется по числу оборотовъ вала, для чего онъ снабженъ циферблатомъ и указателемъ. Донный контактъ указываетъ моментъ прикосновенія муфты вертушки къ башмаку.

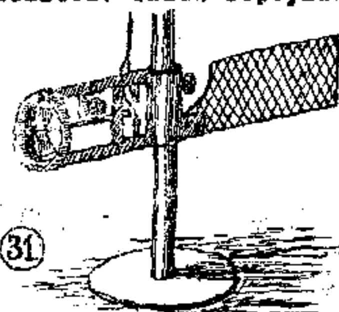
При работѣ съ вертушкой на тросѣ этотъ методъ также вполнѣ примѣнимъ; тогда тросъ черезъ блокъ (черт.26) идетъ къ счётному валу, устанавливаемому на понтонѣ или на мосту.

Райсъ для своего „детальнаго" метода примѣнялъ хронографъ, записывавшій одновременно на бумажной лентѣ время, сигналы вертушки и глубину ея погруженія.

## § 17. ДРУГІЕ ТИПЫ ВЕРТУШЕКЪ.




Для измѣренія скоростей около поверхности воды сконструирована плавучая вертушка Отта (черт.30); она состоитъ изъ металлическаго судна, къ которому прикрѣплены на длинной трубчатой оси лопасти. Такая вертушка удерживается на буксирѣ съ лодки или моста при посредствѣ тросса съ проводами. Примѣненіе рекомендуется въ томъ случаѣ, когда въ рѣкѣ плывутъ подводныя коряги, бревна - „утопленники" и т.п., которыя часто повреждаютъ вертушки, особенно въ мутной водѣ.




Приспособленіемъ для защиты лопастей отъ поврежденій снабжена „малая вертушка" Отта, у которой лопасти заключены въ раму и окружены ободкомъ (черт.31). Эта вертушка примѣняется въ небольшихъ ручьяхъ, гдѣ часто приходится приближать лопасти ко дну и берегамъ.

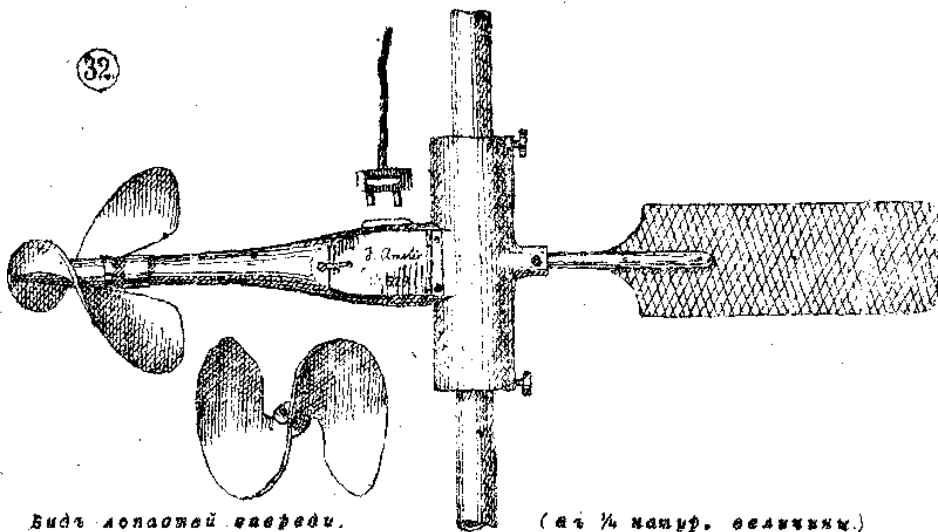
## § 18. НѢКОТОРЫЯ НОВЫЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАНІЯ.

Кромѣ изслѣдованій надъ наилучшей формой лопастей (см. § 9), заботы конструкторовъ вертушекъ были направлены на выборъ матеріала для нихъ. Большинство лопастей изготовляются изъ бронзы и мѣди; въ послѣднее время появились лопасти алюминіевыя, отличающіяся своею легкостью. Надежды, возлагавшіяся на эти лопасти, не оправдываются, т.к. алюминій довольно легко гнется и отъ этого измѣняются коэффиціенты прибора. Алюминіевыми лопастями типа Гайоше снабжена новая вертушка Амслера, принадлежащая Женевому Институту (черт.32).

Ось вертушки вращается на никкелевыхъ шарикахъ - чрезвычайно легко.

Работы съ вертушками въ водѣ, содержащей взвѣшенныя вещества,

*Новая вертушка АМСЛЕРА.*




*Видъ лопастей спереди.* *(въ ¼ натур. величины.)*

показали, что песокъ проникаетъ черезъ мельчайшія щели внутрь вертушки и засоряетъ шарики. Вертушку приходится часто разбирать и промывать, а работа производится неточно, т.к. въ присутствіи песка треніе замѣтно увеличивается, и слѣд. измѣняются постоянныя прибора. Въ такихъ условіяхъ вертушка быстро изнашивается. Такъ, въ Партіи Крымскихъ Водныхъ Изысканій, когда были испорчены подшипники нѣсколькихъ вертушекъ, перешли при работѣ въ мутной водѣ къ американской вертушкѣ Прайса, у которой шариковыхъ подшипниковъ нѣтъ.

При работѣ же въ чистой водѣ примѣненіе шариковъ замѣтно увеличиваетъ точность измѣренія скоростей.

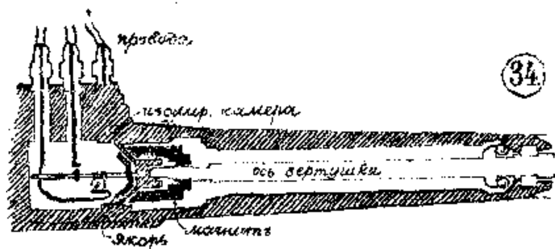
Засореніе въ мутной водѣ такъ же пагубно сказывается на контактовомъ устройствѣ счетчика. Если вода содержитъ известь, то контакты быстро покрываются известковымъ налетомъ и правильность замыканія нарушается. Такъ какъ очистка контактовъ затруднительна, желательно совершенно прекратить доступъ водѣ внутрь камеры вертушки. Первыя попытки сводились къ тому, что камера наполнялась масломъ или чистою водой. У вертушекъ Альбрехта контакты помѣщены въ опрокинутый стаканчикъ (водолазный колоколъ), въ которомъ всегда находится воздухъ. У описанной выше вертушки Амслера (черт.32) на одну ось съ зубчатымъ колесомъ c (черт.33) насаженъ эксцентрикъ, заключенный въ тщательно закрываемую камеру. При вращеніи эксцентрика пружина у рычага a касается штифта b, и происходитъ замыканіе тока.

*Контактное устройство въ вертушкѣ Амслера.*




(33)

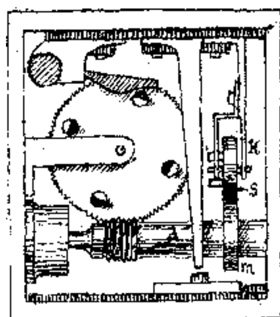
Лучшимъ слѣдуетъ признать устройство въ новыхъ вертушкахъ Отта. Контакты помѣщаются въ совершенно изолированной камерѣ. Къ оси вертушки у противоположнаго лопастямъ конца прикрѣпленъ магнитъ, соотвѣтственно которому въ изолированной камерѣ имѣется якорь. При вращенiи оси вертушки вращается магнитъ, а вслѣдъ за нимъ и якорь (черт. 34), съ осью котораго соединены контактныя приспособленiя для подачи сигналовъ какъ черезъ 25, такъ и черезъ каждый оборотъ. Полость, въ которой помѣщается ось и магнитъ, рекомендуется наполнять масломъ или чистою водою, во избѣжанiе засоренiя.




(34)

*Схематич. чертежъ магнитн. контакта Отта.*

У одной изъ новыхъ моделей вертушки Отта особенностью является то, что можно по желанiю измѣнять число оборотовъ между звонками (черт. 34 а); у зубчатаго колеса устроены 4 штифтика, наполовину изолированные. Поворачивая ихъ тою или другой стороной къ контактовой пружинѣ, можно заставить вертушку давать сигналы черезъ 25, 50 или 100 оборотовъ. У этой же вертушки имѣется контактное устройство для указанiя обратнаго вращенiя лопастей, что очень важно при существованiи въ рѣкѣ водоворотовъ; заключается оно въ особомъ колесѣ к, съ изолированнымъ сегментомъ s, который при прямомъ вращенiи







(34а)

все время касается колеса m, насаженнаго на ось вертушки а; при обратномъ вращенiи колесо m немного поворачиваетъ колесо к и изолированный сегментъ перестаетъ касаться колеса m, отчего происходитъ замыканiе тока; наблюдатель замѣчаетъ по особому указателю этотъ моментъ и принимаетъ необходимыя мѣры.

## § 19. УХОДЪ ЗА ВЕРТУШКАМИ.

Вертушка, какъ точный и нѣжный инструментъ, требуетъ очень внимательнаго къ себѣ отношенія.

При неосторожномъ обращеніи съ вертушкою, легко погнуть лопасти или ось; отъ этого измѣняются коэффиціенты прибора и получаются искаженные результаты, которые не всегда можно исправить повторною тарировкою прибора.

Передъ употребленіемъ вертушки подшипники ея смазываются хорошимъ масломъ. Зимою смазки надо избѣгать, т.к. масло быстро сгущается.

Если у вертушки стальные шарики, то ихъ послѣ работы надо выбрать, разобравъ вертушку, и хранить отдѣльно. Вообще же разборки слѣдуетъ избѣгать.

При работѣ зимою, чтобы вертушка не замерзала, ее обливаютъ соленою водою каждый разъ, какъ только ее вынимаютъ изъ воды.

## § 20. ТАРИРОВАНІЕ ВЕРТУШЕКЪ. УСТРОЙСТВО ТАРИРОВОЧНЫХЪ СТАНЦІЙ.

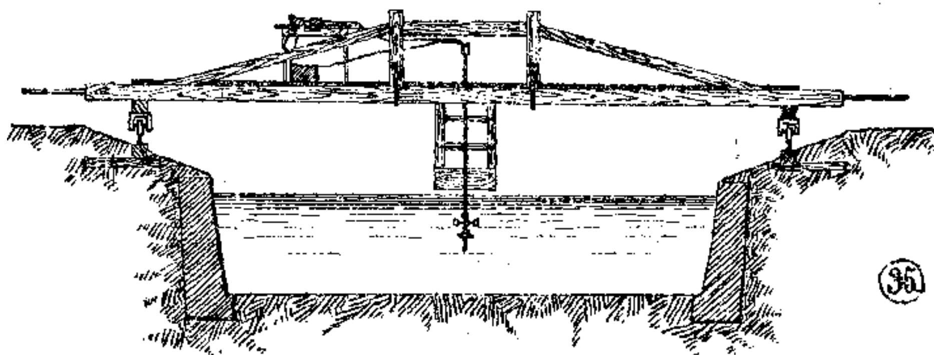
Для опредѣленія скорости теченія воды по показаніямъ вертушки необходимо знать величины ея постоянныхъ. При выпускѣ съ фабрики каждая вертушка снабжается „аттестатомъ", заключающимъ въ себѣ эти коэффиціенты; ими обычно и пользуются. Слѣдуетъ имѣть въ виду, что постоянныя вертушекъ могутъ измѣняться какъ отъ неосторожнаго обращенія, такъ и вообще отъ употребленія вертушекъ. Поэтому приходится періодически эти постоянныя опредѣлять. Опредѣленіе зависимости показанія гидрометрическаго прибора отъ скорости теченія воды называется тарированіемъ этого прибора.

Тарированіе вертушекъ осуществляется передвиженіемъ ихъ въ стоячей водѣ съ различными скоростями и одновременнымъ опредѣленіемъ соотвѣтствующаго каждой скорости числа оборотовъ лопастей въ секунду.

Для тарированія вертушекъ устраиваются особыя тарировочныя станціи. Извѣстны два типа ихъ: съ прямолинейнымъ движеніемъ вертушекъ и съ круговымъ, для чего необходимъ соотвѣтствующей формы бассейнъ съ водою, искусств. или естественный.

Устройство станціи съ прямолинейнымъ бассейномъ слѣдующее: (черт.35). По берегамъ прямоугольнаго (въ планѣ) продолговатаго канала проложены рельсы. По рельсамъ передвигается на тележкахъ особая платформа, перекинутая поперекъ канала. Съ платформы опу-

*Поперечный разрѣзъ тарировочного бассейна продольного типа.*
*(Гредель въ Саксоніи).*




скается въ воду вертушка, соединенная проводами съ самопишущимъ приборомъ, отмѣчающимъ на бумажной лентѣ время, путь, проходимый телѣжками, и обороты лопастей вертушки (черт. 35 а: при большихъ скоростяхъ - а и при малыхъ - b). По этимъ даннымъ можно очень точно получить скорости передвиженія платформы съ вертушкою и соотвѣтствующее каждой изъ скоростей число оборотовъ лопастей въ секунду. Обработка результатовъ приведена ниже.

(35а) *Образцы тарировочной записи.*

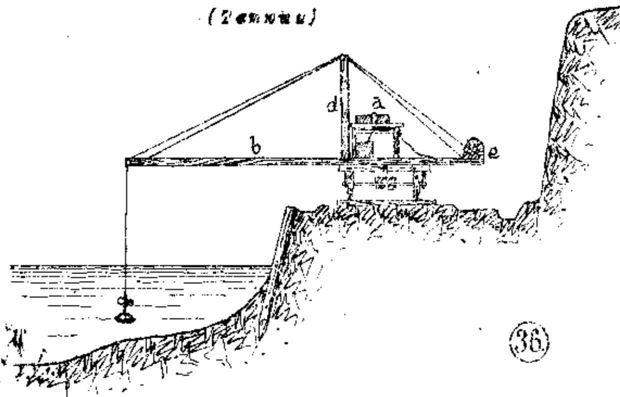
a

b

По такому типу построена Мюнхенская Гидрометрическая Испытательная станція при Техническомъ Училищѣ, имѣющая бетонный каналъ длиною 108 метр., шириною 1,2 м. и глубиною 1 м. Платформа передвигается при помощи электрическаго мотора. Въ часъ удается дѣлать до 50 поѣздокъ съ вертушкой. Каждую вертушку тарируютъ 30-50 поѣздками; за это установлена плата 50 марокъ.

Въ Петроградѣ вертушки тарируются въ Опытномъ Судостроит. Бассейнѣ Морского Вѣдомства, имѣющемъ бассейнъ длиною около 120 м., шир. 6,7 м. и глубиною 3 м., предназначенный для испытанія моделей судовъ.

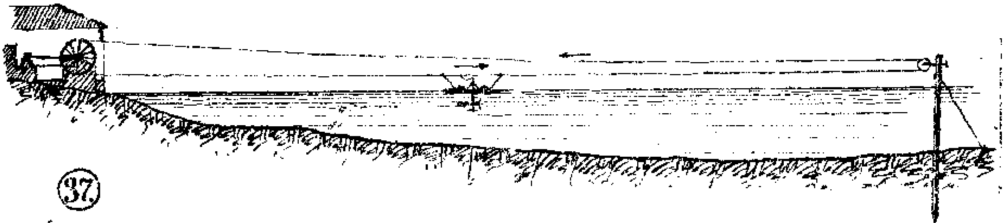
Для нуждъ Казанскаго Округа Путей Сообщенія устроена въ р. Тетюшахъ временная тарировочная станція на берегу пруда (ч. 36), причемъ телѣжка движется по рельсамъ, уложеннымъ на берегу: вертушка опускается въ воду, подвѣшенная на тросѣ, перекинутомъ через раму b. Длина пути - 50 саж. Телѣжка передвигается рабочими.



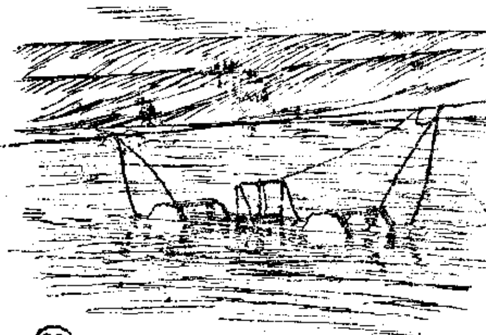

*Тарировочная станція на берегу пруда. (Теннии)*

Аналогичное устройство имѣютъ американскія тарировочныя станціи: тележка передвигается электрическимъ моторомъ. Хронографъ устанавливается въ постоянномъ мѣстѣ, что лучше обезпечиваетъ правильность его работы, чѣмъ когда онъ находится на тележкѣ. Оригинально устроена тарировочная станція Водного Управленія на Кавказѣ - на Лисьемъ озерѣ, въ 8 в. отъ Тифлиса (черт.37). На разстояніи 170 метровъ отъ берега натянутъ безконечный троссъ - отъ желѣзныхъ свай, забитыхъ въ дно озера, до бе

*Схема тарировочной Станціи на Лисьемъ озерѣ.*



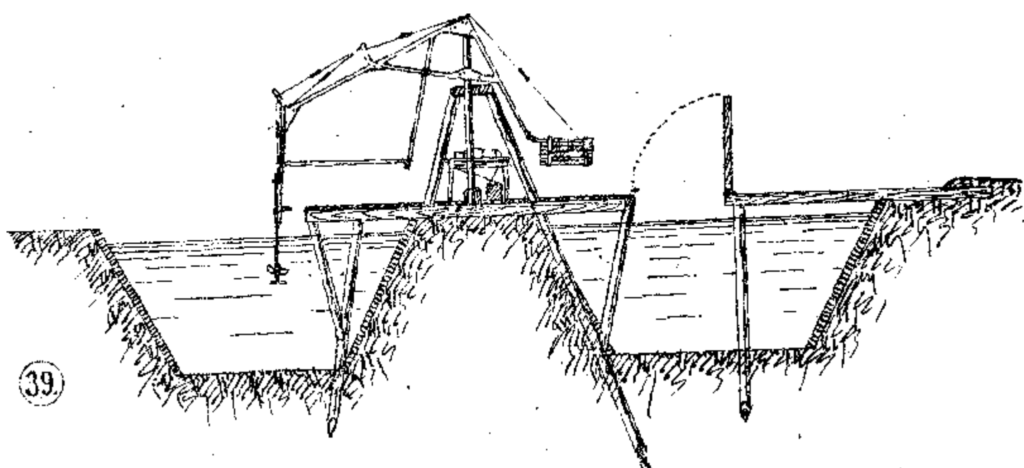

рега. Троссъ приводится въ движеніе моторомъ, помѣщающимся въ небольшой деревянной постройкѣ. Къ троссу прикрѣпленъ плотъ, съ котораго опускается въ воду вертушка (черт.38). Перемѣна скоростей достигается комбинаціей зубчатыхъ колесъ и валовъ. Безконечный троссъ служитъ одновременно проводомъ для сигнализаціи. Особенность примѣненной конструкціи та, что хронографъ



находится на берегу, съ берега же управляютъ движеніемъ плота.

Таковы разновидности устройства тарировочныхъ станцій съ прямолинейнымъ движеніемъ вертушки. Вслѣдствіе дороговизны ихъ сооруженія предложенъ другой типъ - съ круговымъ движеніемъ вертушки.

По образцу тарировочной станціи такого типа въ Греноблѣ, во Франціи, сооружена въ 1910 году Управленіемъ Гидрометрической Части въ Туркестанскомъ Краѣ тарировочная станція въ Ташкентѣ. Вертушка движется по искусственному бассейну овальной формы (черт.39), вокругъ вертикальной оси. Діаметръ бассейна около 7 саж., разстоя-




*Поперечный разрѣзъ кругового тарировочнаго бассейна.*
*(Ташкентъ)*

ніе вертушки отъ оси вращенія - 1,7 саж.

Вертушка прикрѣпляется къ рамѣ, причемъ ея лопасти погружаются въ воду на 0,25 с. и рама приводится въ круговое движеніе рабочими, ступающими въ тактъ по размѣченному кругу.

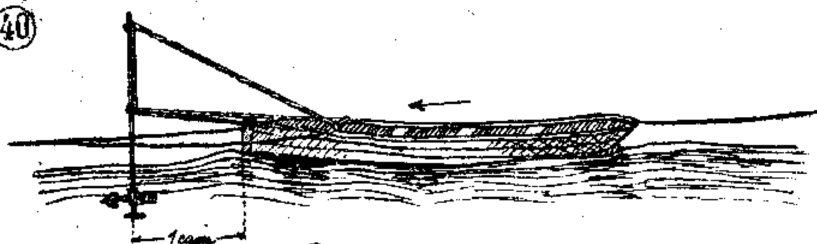
Несмотря на достоинства сооруженія станціи съ круговымъ движеніемъ (небольшая площадь, особенно если устроить на пруду, простота и легкость движенія), къ этому типу относятся недовѣрчиво. Во время движенія вертушки создается вращательное движеніе воды, не устраняемое даже овальною формою бассейна (въ планѣ), которое можетъ замѣтно вліять на результаты тарировки. Кромѣ того, на такой станціи нельзя тарировать вертушекъ на троссѣ, т.к. при движеніи оказываетъ вліяніе центробѣжная сила, измѣняющая радіусъ вращенія вертушки.

Кромѣ указанныхъ тарировочныхъ станцій, другихъ въ Россіи нѣтъ, между тѣмъ необходимость въ нихъ ощущалась давно, и вертушки обыкновенно отсылались для тарировки заграницу. Въ будущемъ проектируется устройство хорошо оборудованныхъ станцій въ Казани (для Округа Путей Сообщенія - съ каналомъ длиною 25 саж., глубиною 1,1 с. и шириною 1,1 с. - въ особомъ каменномъ зданіи) и въ Петроградѣ (въ Лѣсномъ, для Отдѣла Земельныхъ Улучшеній), гдѣ будутъ сооружены бассейны обоихъ типовъ для необходимаго сравненія даваемыхъ ими результатовъ. Продолговатый бассейнъ проектируется длиною въ 40 саж., глуб. 1,20 с. и шириною въ 2 или 3,4 саж., стоимостью въ 70.000 рублей.

## § 21. ТАРИРОВАНІЕ ВЕРТУШЕКЪ ВЪ ПОЛЕВОЙ ОБСТАНОВКѢ.

Если нельзя воспользоваться тарировочною станціею, оборудованною самопишущими приборами, приходится продѣлывать тарировку вертушки въ полевой обстановкѣ, примѣняя менѣе точные, но болѣе простые и дешевые пріемы. Для этого поперекъ пруда передвигаютъ лодку, впереди которой при посредствѣ особой рамы прикрѣпляется вертушка на штангѣ (черт. 40) или опускается черезъ блокъ вертушка на троссѣ (черт. 41). На одномъ берегу нѣсколько человѣкъ тянутъ лодку при помощи каната, равномѣрно уходя отъ берега; на другомъ берегу другіе ее удерживаютъ, также канатомъ. Лучше приспособить

40




*Тарированіе съ лодки на 2 канатахъ.*

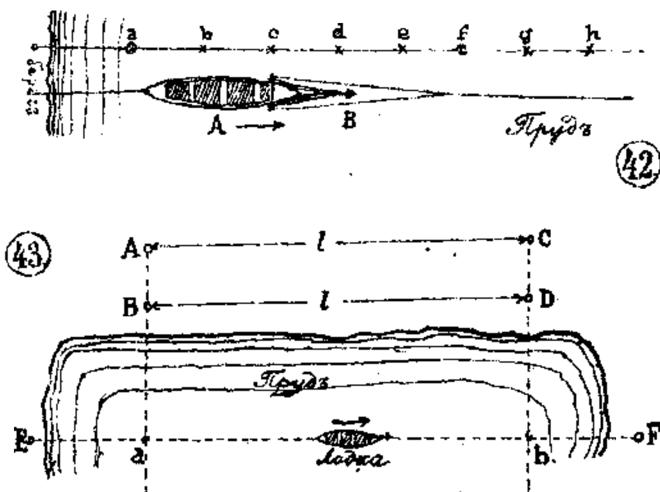
41

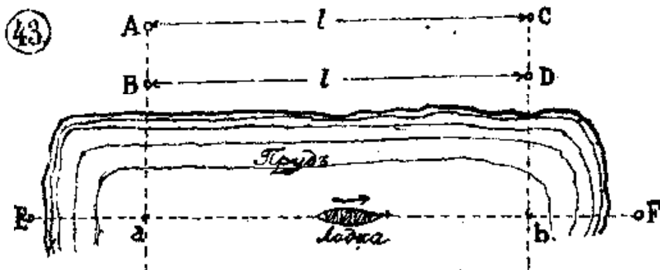


*Тарированіе съ лодки съ воротомъ.*

для этой цѣли два ворота, которыми можно достичь болѣе равномѣрнаго движенія лодки. При недостаткѣ рабочихъ можно предложить передвигать лодку руками или при посредствѣ ворота (черт.41) по канату, натянутому поперекъ пруда. Передвиженія на веслахъ слѣдуетъ избѣгать, зато вполнѣ умѣстно пользоваться моторною лодкою. *)

Въ лодкѣ помѣщаются наблюдатели, записывающіе отсчеты по счетчику (или звонки), время, а также путь, проходимый лодкою. Для регистраціи пути могутъ быть предложены 2 способа. По первому - параллельно пути лодки (черт.42) натягивается или прикрѣпляется къ ряду поплавковъ размѣченный на сажени канатъ, или же по этой же линіи устанавливается рядъ вѣхъ черезъ опредѣленныя разстоянія (точки а, b, с и т.д.) Наблюдатель опредѣляетъ разстоянія на-глазъ, съ точностью до 0,1 саж. Второй способъ (съ постоянною длиною пути) заключается въ томъ, что въ сторонѣ отъ пути лодки,




лучше на берегу, устанавливаются 4 вѣхи, образующія 2 параллельныхъ створа (черт.43) АВ и CD. Лодка, движущаяся по линіи EF, отъ точки а въ створѣ АВ до точки b въ створѣ CD проходитъ всегда одно и то же разстояніе $l$ = AC.

Если тарируется вертушка съ механическимъ счетчикомъ, то въ точкѣ а включается счетчикъ и пускается въ ходъ стрѣлка секундомѣра, въ точкѣ b счетчикъ выключается и стрѣлка останавливается (при отмѣчаніи разстояній по первому способу моменты начала и конца наблюденія произвольны).

При тарировкѣ вертушки съ электрической сигнализаціей, въ концѣ каждаго звонка дѣлаются отсчеты 1) пройденнаго пути по размѣченному канату и 2) по секундомѣру. Если длина пути постоянна (вто-

---

*) Послѣдній способъ применялся Партіею Крымскихъ Водныхъ Изысканій на пруду въ Симферополѣ.

рой способъ), то необходимо имѣть два секундомѣра. По одному замѣчается продолжительность хода лодки отъ створа АВ до створа CD, для опредѣленія ея скорости; по другому замѣчаются моменты сигналовъ вертушки для опредѣленія скорости вращенія лопастей. Напр. пусть разстояніе l = 20 саж. лодка прошла въ 40 сек.; въ теченіе 35,7 сек лопасти сдѣлали 150 оборотовъ; отсюда скорость v = 0,5 саж., число оборотовъ лопастей въ секунду n = 4,2

Ниже приведенъ образецъ записи и обработки результатовъ одной поѣздки съ вертушкою Отта *) (разстоянія опредѣлялись по размѣченному канату).

| Звонки | Отсчеты по секундомѣру | Промежутки | Отсчеты разстояній | Промежутки. |
|---|---|---|---|---|
| 1 | пропущенъ | | | |
| 2 | 0' 0" | | 6,8 саж. | |
| 3 | 5" | 5" | 9,4 | 2,6 |
| 4 | 11" | 6" | 12,3 | 2,7 |
| 5 | 16" | 5" | 14,8 | 2,5 |
| 6 | 21" | 5" | 17,4 | 2,6 |
| 7 | 27",2 | 6",2 | 20,3 | 2,9 |

Путь, пройденный лодкою l = 20,3 - 6,8 = 13,5 саж , время, потраченное на это t = 27",2. Скорость лодки

$$v = \frac{l}{t} = 0{,}50 \text{ саж.}$$

Вертушка даетъ сигналы черезъ 25 оборотовъ; наблюдалось 5 промежутковъ между звонками, т.е. N = 25 × 5 = 75 оборотовъ лопастей. Число оборотовъ въ 1 сек.

$$n = \frac{N}{t} = 4{,}59.$$

Поѣздокъ съ вертушкою необходимо сдѣлать 20-30, съ различными скоростями до предѣльныхъ, могущихъ встрѣтиться при работѣ.

---

*) Изъ данныхъ полевой гидрометрической практики Межевого Института, полученныхъ на прудѣ выше завода Крузона, на р. Яузѣ.

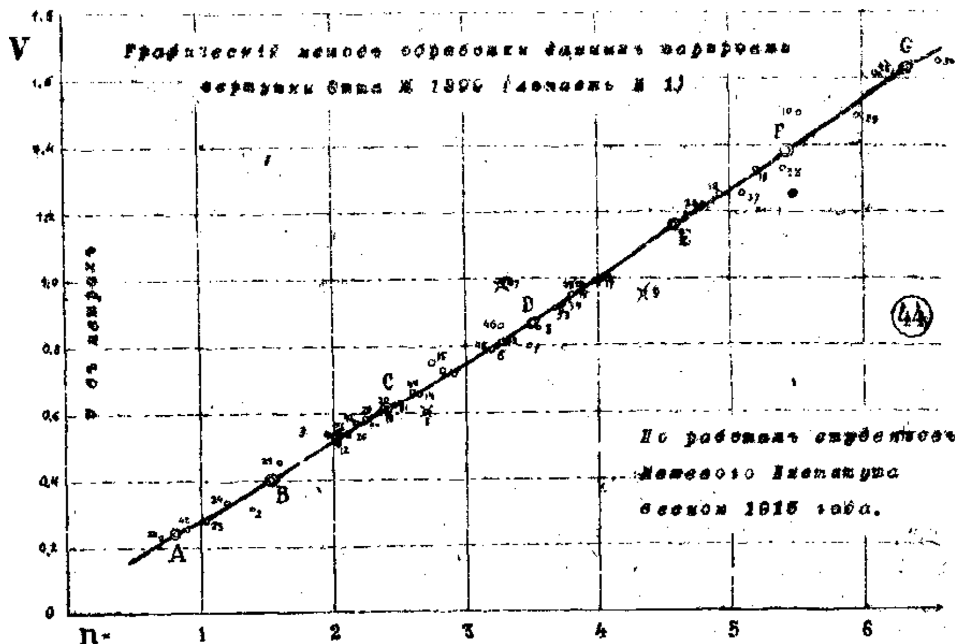
## § 22. ОБРАБОТКА ТАРИРОВОЧНЫХЪ ДАННЫХЪ. ГРАФИЧЕСКІЙ МЕТОДЪ.

Когда тѣмъ или инымъ путемъ опредѣлена многократно зависимость между числомъ оборотовъ лопастей вертушки и соотвѣтствующими скоростями, причемъ скорости мѣняются отъ наименьшей, при которой перестаетъ работать вертушка, до наибольшей встрѣчаемой на работѣ, т.е. до 3-4 метровъ въ сек., - приступаютъ къ обработкѣ данныхъ тарировки.

Для этого существуютъ различные методы. Самый простой - графическій, когда искомая зависимость изображается въ видѣ тарировочной кривой.

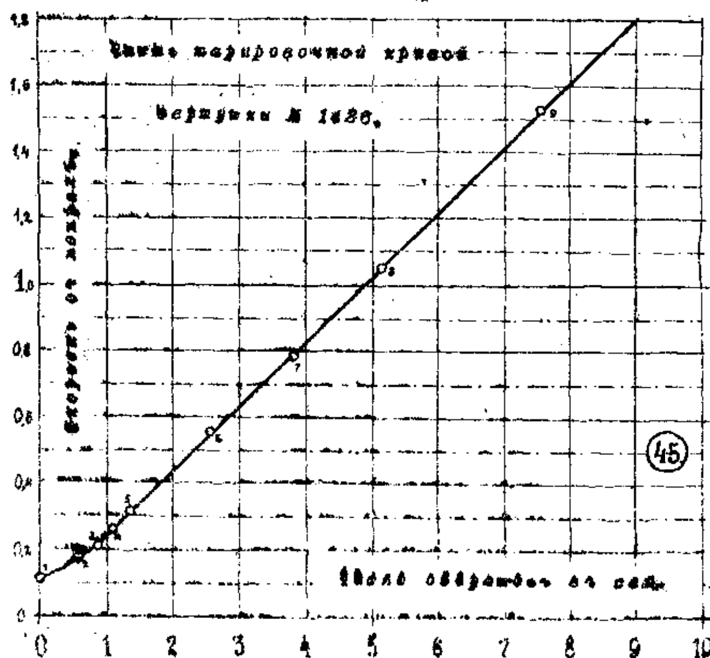
На клѣтчатой (профильной) бумагѣ по скоростямъ v, какъ ординатамъ, и соотвѣтствующимъ числамъ оборотовъ лопастей въ сек. n, какъ абсциссамъ, строится рядъ точекъ, которыя расположатся по опредѣленному закону. Черезъ эти точки проводится плавная кривая, которая геометрически изобразитъ уравненіе вертушки. Масштабы для абсциссъ и ординатъ выбираются такъ, чтобы общее направленіе кривой было близко къ прямой, образующей съ осями координатъ углы въ 45°. При большомъ числѣ точекъ могутъ встрѣтиться нѣкоторыя противорѣчія, когда точки расположатся не по одной линіи, а полосой. Въ этомъ случаѣ точки, рѣзко уклоняющіяся отъ общаго направленія кривой, лучше отбросить, какъ ошибочныя, остальныя же подраздѣлить на отдѣльныя группы, напр. черезъ опредѣленные промежутки по абсциссамъ или ординатамъ. Для каждой изъ группъ находится положеніе центра тяжести точекъ, координаты котораго опредѣляются, какъ среднее ариѳметическое координатъ отдѣльныхъ точекъ группы. На черт. 44 приведена тарировочная кривая, построенная по части данныхъ, добытыхъ на полевой практикѣ Межевого Института въ 1916 году. Точки №№ 5, 47 и 9 отброшены какъ невѣрныя; остальныя разбиты на 7 группъ по величинѣ n (0-1, 1-2 и т.д.) Такъ, напр. во II группу входятъ слѣдующія точки:

| № точекъ | v | n |
|---|---|---|
| 33 | 0.28 | 1.04 |
| 34 | 0.33 | 1.20 |
| 6 | 0.31 | 1.38 |
| 25 | 0.42 | 1.60 |
| 11 | 0.54 | 1.82 |
| 4 | 0.58 | 2.00 |



Среднія ариеметическія величинъ v и n дадутъ координаты точки В:

$v = 0.40$, $n = 1.51$.



Черезъ полученныя такимъ путемъ точки А, В, С и т. д. легко провести плавную кривую, которая и будетъ приблизительной тарировочной кривой.

Если тарировка производится на тарировочной станціи, то значенія v и n опредѣлятся по лентѣ съ большей точностью, чѣмъ это возможно при примѣненіи про-

стыхъ методовъ, какъ напр. въ приведенномъ примѣрѣ. Поэтому и точки тамъ располагаются гораздо болѣе правильно; черезъ нихъ непосредственно проводится кривая.

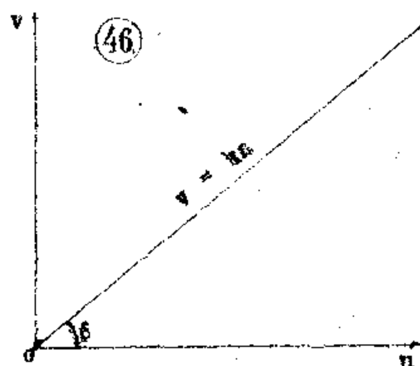
Въ видѣ примѣра приведена часть тарировочной кривой вертушки съ механическимъ счетчикомъ № 1426; кривая построена по даннымъ Петроградскаго Опыт. Судостр. Бассейна (черт. 45).

## § 23. АНАЛИТИЧЕСКІЕ МЕТОДЫ.

Вмѣсто графическаго, чаще наряду съ графическимъ способомъ обработки тарировочныхъ данныхъ, примѣняются методы аналитическіе, дающіе зависимость между величинами v и n въ видѣ т. наз. уравненія вертушки.

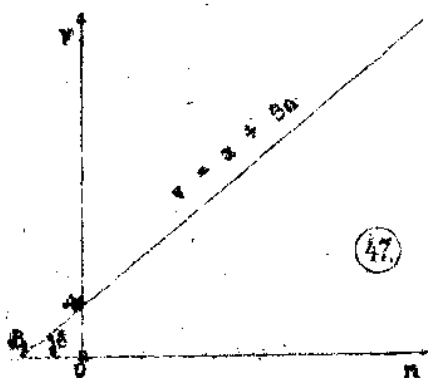
Форма уравненія и его степень подбирается въ зависимости отъ вида кривой, изображающей графически зависимость между v и n (см. предыдущій §).

1. Простѣйшая форма уравненія $v = kn$ . . . . . . . (2)




Этому уравненію соотвѣтствуетъ прямая, проходящая черезъ начало координатъ, образующая съ осью n уголъ δ, и $k = tg\delta$ (черт. 46).

Недостатокъ уравненія $v = kn$ заключается въ томъ, что при $n = 0$ $v = 0$, а это невѣрно, т.к. въ дѣйствительности $n = 0$ при $v < v_0$, гдѣ $v_0$ — чувствительность прибора, т.е. минимальная скорость, при которой начинаютъ вращаться лопасти прибора. Однако, какъ доказано опытами, формой (2) можно пользоваться съ успѣхомъ при скоростяхъ выше опредѣленнаго предѣла (см. ниже).




2. Попытки устранить указанный недостатокъ формы уравненія (2) привели къ уравненію:

$$v = \alpha + \beta n \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

которое носитъ названіе уравненія

Вольтмана (см. также § 7). Это - уравненіе прямой линіи, образующей съ осью n уголъ δ; $\alpha = v_o$ - есть величина отрѣзка, дѣлаемаго прямою на оси v, $\beta = tg\delta$ (черт.47).

Уравненіе (3) точно такъ же, какъ и (2) даетъ неудовлетворительные результаты при малыхъ скоростяхъ. Лучшими оказываются уравненія высшихъ степеней, какъ

$$v = \alpha + \beta n + \gamma n^2 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (4)$$

(уравненіе параболы съ осью, параллельною оси v) съ 3 коэффиціентами, и уравненіе Баумгартена

$$v = an + \sqrt{bn^2 + c} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (5)$$

(гипербола съ дѣйствительною осью, параллельною оси v).

Завѣдующій Мюнхенской тарировочной станціею, проф. Шмидтъ преобразовалъ уравненіе Баумгартена въ слѣдующее

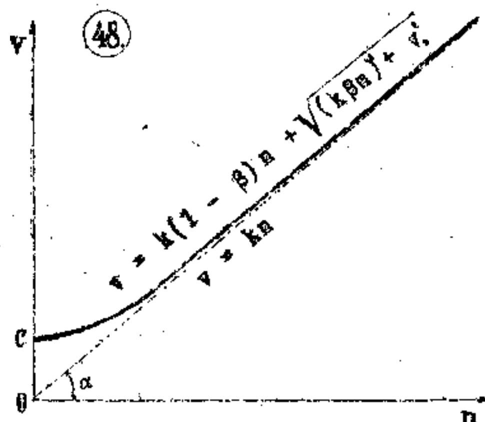
$$v = k\,(1 - \beta)\,n + \sqrt{(k\beta n)^2 + v_o^2} \quad . \; . \; . \quad (6)$$

Этому уравненію соотвѣтствуетъ гипербола, ассимптота которой $v = kn$ проходитъ черезъ начало координатъ (черт.48). Постоянными являются 3 коэффиціента: k, β и $v_o$.

При $n = o$, $v = v_o$.

При большихъ значеніяхъ n можно принять: $v_o = o$ и тогда

$$v = k\,(1 - \beta)\,n + \sqrt{(k\beta n)^2} = kn \quad . \; . \; . \quad (7)$$




Какъ видно изъ черт.48 - $OC = v_o$, $k = tg\alpha$. Неопредѣленнымъ остается коэффиціентъ β. При значеніи $\beta = o$:

$$v = kn + \sqrt{v_o^2} = v_o + kn \quad . \; . \quad (8)$$

т.е. тарировочная кривая оказывается прямою съ уравненіемъ (3)

При $\beta = 1$:

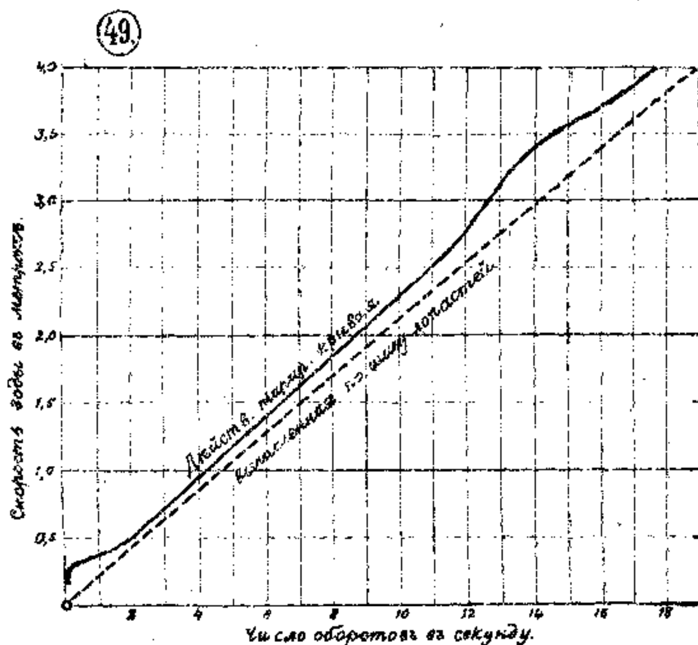
$$v = \sqrt{k^2n^2 + v_o^2} \quad . \; . \quad (9)$$

Значеніе β можетъ измѣняться въ предѣлахъ отъ 0 до 1.

Уравненіе Шмидта является универсальнымъ, т.к. въ немъ

устранены указанные выше недостатки.

Изслѣдованія Эппера на Бернской тарировочной станціи показали, что въ дѣйствительности для тарировочной кривой не подходитъ ни одно изъ приведенныхъ уравненій, т.к. при незначительныхъ скоростяхъ (менѣе 0.2 метра), а также при большихъ скоростяхъ (около v = 3 метр.), дѣйствительная тарировочная кривая замѣтно уклоняется отъ общаго направленія (черт.49), что у малыхъ скоростей объясняется, повидимому, вліяніемъ инерціи при переходѣ лопастей изъ состоянія покоя въ движеніе, у большихъ же - водоворотами, которые образуются вокругъ лопастей; точнаго объясненія пока нѣтъ. Указанныя неправильности не могутъ быть уловлены ни однимъ изъ приведенныхъ уравненій. Проф. Глушковъ *) предложилъ пріемъ „направленія точекъ", полученныхъ изъ опыта при помощи сосѣднихъ точекъ графическимъ способомъ.




Когда для уравненія вертушки выбрано одно изъ уравненій (2), (3), (4), (5) или (6), необходимо опредѣлить значенія постоянныхъ, входящихъ въ уравненіе. Задача сводится къ опредѣленію коэффиціентовъ, какъ неизвѣстныхъ a, b, c... изъ системы уравненій

$$\begin{aligned} v_1 &= f\,(n_1,\ a,\ b,\ c\ \ldots\ldots) \\ v_2 &= f\,(n_2,\ a,\ b,\ c\ \ldots\ldots) \\ v_3 &= f\,(n_3,\ a,\ b,\ c\ \ldots\ldots) \end{aligned} \qquad (10)$$

въ которыхъ $v_1$, $v_2$, $v_3$ .... и $n_1$, $n_2$, $n_3$ ..... опредѣлены тарировкой. Такъ какъ число уравненій всегда больше числа неизвѣстныхъ,

*) Графическое построеніе эмпирическихъ кривыхъ. Отчетъ Гидрометр. Части въ Туркестанскомъ Краѣ за 1911 г., т. I, стр. 864-883.

то вѣроятнѣйшія значенія величинъ a, b, c...... должны быть найдены по способу наименьшихъ квадратовъ. Рѣшеніе задачи просто при положеніи формою уравненія (2) и (3), но сильно затруднено, если принято уравненіе высшаго порядка.

Примемъ для вертушки № 1399 (ср. черт. 44) уравненіе $v = kn$. За значенія $v$ и $n$ примемъ координаты точекъ A, B, C ....., G, и подставимъ эти значенія поочередно въ уравненіе $v = kn$:

$$
\begin{aligned}
0.24 &= 0.80\,k\\
0.40 &= 1.51\,k\\
0.61 &= 2.39\,k\\
0.87 &= 3.51\,k\\
1.16 &= 4.58\,k\\
1.39 &= 5.44\,k\\
1.63 &= 6.34\,k.
\end{aligned}
$$

Вѣроятнѣйшее значеніе k изъ 7 уравненій опредѣлится, какъ

$$k = \frac{\Sigma v}{\Sigma n};$$

$$k = \frac{6.29}{24.57} = 0.256$$

Слѣдовательно, уравненіе вертушки по даннымъ чертежа 44 получится такое

$$v = 0.256\,k \;(\text{метровъ}) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (11)$$

Для вычисленія коэффиціентовъ уравненія вида $v = \alpha + \beta n$ примемъ данныя, полученныя для вертушки № 1426 съ механическимъ счетчикомъ въ Петроградскомъ Бассейнѣ въ 1916 г. изъ 18 поѣздокъ, и подставимъ ихъ въ это уравненіе:

$$
\begin{aligned}
0.115 &= \alpha + 0{,}000\,\beta\\
0.174 &= \alpha + 0{,}541\,\beta\\
0.212 &= \alpha + 0.879\,\beta\\
0.260 &= \alpha + 1.093\,\beta\\
0.314 &= \alpha + 1.348\,\beta\\
0.557 &= \alpha + 2.580\,\beta\\
0.782 &= \alpha + 3.810\,\beta\\
1.050 &= \alpha + 5.150\,\beta\\
1.530 &= \alpha + 7.550\,\beta\\
2.065 &= \alpha + 10.300\,\beta
\end{aligned}
$$

$$2.520 = \alpha + 13.620\,\beta$$
$$3.020 = \alpha + 15.200\,\beta$$
$$3.300 = \alpha + 16.800\,\beta .$$

При рѣшеніи 13 уравненій съ 2 неизвѣстными по способу наименьшихъ квадратовъ *) получаются результаты

$$\alpha = 0.061$$
$$\beta = 0.1948 ,$$

и уравненіе вертушки №1426 представится въ видѣ:

$$v = 0.061 + 0.1943\, n \quad . . . . . . . (12)$$

Еще проще разрѣшается задача, если принять $\alpha = v_0$ изъ непосредственнаго измѣренія, напр. въ этомъ случаѣ $\alpha = 0.115$ и вычислять затѣмъ только одно $\beta$, по предыдущему. Результаты для вертушки №-1426 будутъ

$$\beta = 0.186$$
$$v = 0.115 + 0.186\, n \quad . . . . . . . . (13)$$

Уравненіе (12) даетъ значительно худшіе результаты, чѣмъ (13).

Вычисленіе коэффиціентовъ по способу наименьшихъ квадратовъ при примѣненіи уравненій вертушки вида (4) и (5) почти невозможно; поэтому слѣдуетъ отдать предпочтеніе уравненію Шмидта

$$v = k\,(1 - \beta)\,n + \sqrt{(k\beta n)^2 + v_0^2} \quad . . . . (8)$$

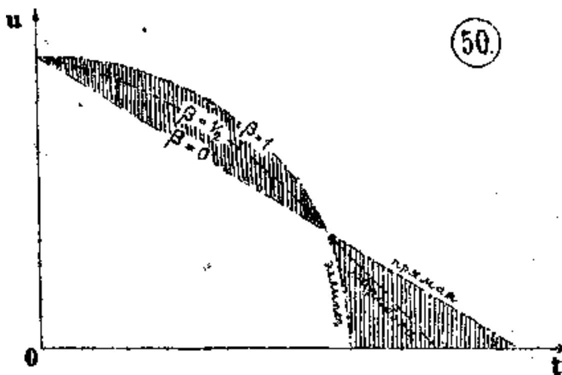
Для опредѣленія значенія $\beta$ (отъ 0 до 1) предварительно строится кривая зависимости полнаго числа оборотовъ $n_1$ (которое допа-

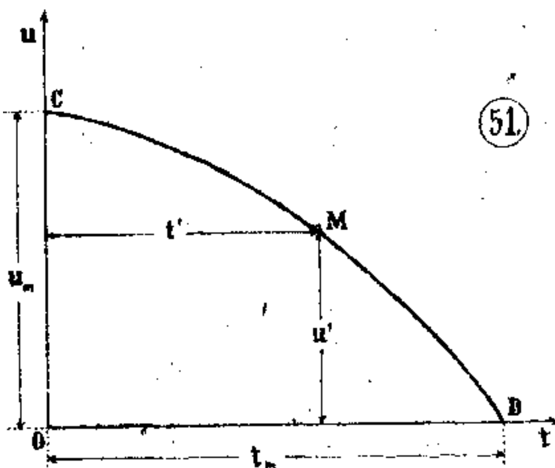
---

*) При 2 неизвѣстныхъ задача сводится къ опредѣленію $\alpha$ и $\beta$ изъ нормальныхъ уравненій:

$$m\,\alpha + [n]\,\beta = [v]$$
$$[n]\,\alpha + [n^2]\,\beta = [nv] ,$$

гдѣ $m$ = число уравненій, т.е. 13, а [ ] = знакъ суммы




эти вертушка дѣлаютъ при прохожденiи постояннаго разстоянiя s) отъ времени t,

т.е. $u = nt$, $t = \frac{s}{v}$.

Если эта кривая будетъ эллипсомъ (черт.50) то $\beta = 1$; если она будетъ прямою, то $\beta = 0$, - параболою - $\beta = \frac{1}{2}$; въ остальныхъ случаяхъ это будетъ кривая высшихъ порядковъ.

По чертежу 51 измѣряются значенiя наибольшихъ $u_m$ и $t_m$ (эта послѣдняя величина обычно вычисляется особымъ порядкомъ, указаннымъ ниже), а также u' и t' для произвольной точки на кривой.

Въ уравненiе (6) подставляются слѣдующiя значенiя:

$v = \frac{s}{t}$; $v_o = \frac{s}{t_m}$; $a = \frac{u}{t}$;

$k = tg\alpha$ (см.черт.48) =

$$= \frac{v_{max}}{u_{max}} = \frac{s \cdot t_m}{t_m \cdot u_m} = \frac{s}{u_m}.$$

$$\frac{s}{t} = \frac{s}{u_m}(1-\beta)\frac{u}{t} + \sqrt{\left(\frac{s}{u_m}\cdot\frac{u}{t}\beta\right)^2 + \left(\frac{s}{t_m}\right)^2}$$

$$1 - \frac{u}{u_m}(1-\beta) = \sqrt{\left(\frac{u}{u_m}\beta\right)^2 + \left(\frac{t}{t_m}\right)^2}\text{; отсюда}$$

$$\beta = \frac{\left(\frac{t}{t_m}\right)^2 - \left(1 - \frac{u}{u_m}\right)^2}{\frac{2u}{u_m}\left(1 - \frac{u}{u_m}\right)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (14)$$

Этотъ способъ опредѣленiя β не точенъ, потому что большое влiянiе оказываетъ ошибка въ проведенiи кривой вблизи оси t. Лучше $t_m$ опре-

дѣлить вычислительнымъ путемъ, для чего необходимо взять координаты двухъ произвольныхъ точекъ на кривой и вычислить два уравненія типа (14) съ двумя неизвѣстными $\beta$ и $t_m$; изъ нихъ находится сначала $t_m$, затѣмъ $\beta$.

Въ результатѣ, въ уравненіе (6) подставляютъ величины $u$, $\beta$ $v_0 = \frac{s}{t_m}$ и получаютъ уравненіе типа (5).

Для примѣра возьмемъ данныя тарировки вертушки № 1426 и вычислимъ по v и n значенія u и t, принявъ s = 100 metr. *)

| № поѣздокъ | v | n | $t = \frac{s}{v}$ | u = nt |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.115 | 0.000 | 862.1 | 0 |
| 2 | 0.174 | 0.541 | 574.7 | 310.9 |
| 3 | 0.212 | 0.870 | 471.7 | 410.4 |
| 4 | 0.260 | 1.093 | 384.6 | 420.4 |
| 5 | 0.314 | 1.348 | 318.5 | 429.4 |
| 6 | 0.557 | 2.580 | 179.5 | 463.1 |
| 7 | 0.782 | 3.810 | 127.9 | 487.3 |
| 8 | 1.050 | 5.150 | 95.2 | 490.3 |
| 9 | 1.530 | 7.550 | 65.4 | 493.8 |
| 10 | 2.065 | 10.300 | 48.4 | 498.5 |
| 11 | 2.530 | 12.620 | 39.5 | 498.5 |
| 12 | 3.020 | 15.200 | 33.1 | 503.1 |
| 13 | 3.690 | 18.600 | 27.1 | 504.1 |

По абсциссамъ u и ординатамъ t нанесены 13 точекъ (черт.52); значеніе $u_m$ легко найти ( u = 505). Значеніе t примемъ сначала для точки D, т.е. ( u = 0, t = 862) и координаты произвольной точки A (u = 300, t = 600) и вычислимъ $\beta$ по формулѣ (14).

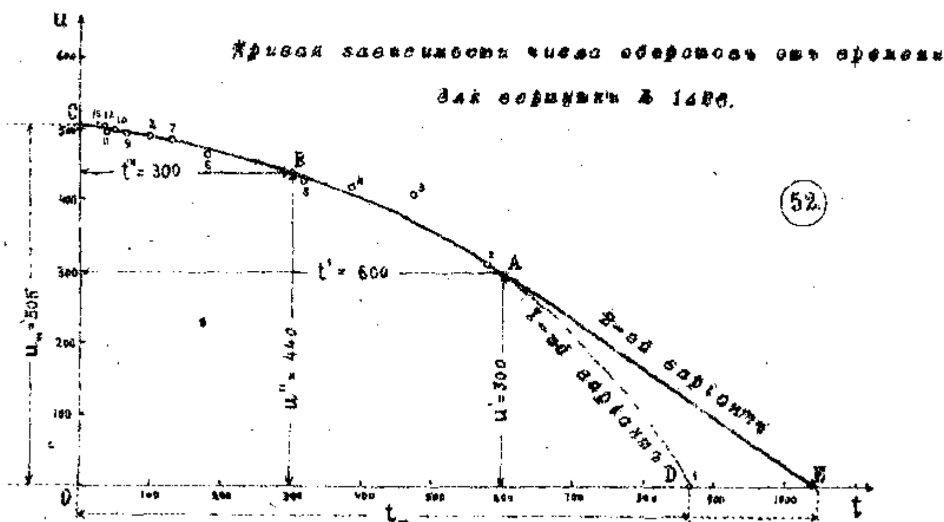
$$\beta \quad 0.69,$$
$$v_0 \quad 0.115,$$

и уравненіе вертушки приметъ видъ:

$$v = 0.0614\, n + \sqrt{0.0187\, n^2 + 0.0132} \quad . \quad . \quad . \quad (15)$$

---

*) *Въ дѣйствительности значенія u, t и s получаются при тарировкѣ непосредственно, и уже по нимъ опредѣляются V и n. Здѣсь, за отсутствіемъ такихъ данныхъ, работа произведена наоборотъ.*




Для опредѣленія β по другому способу возьмемъ двѣ произвольныя точки A ($u' = 300$; $t' = 600$) и B ($u'' = 440$; $t'' = 300$) и вычислимъ $t_m$:

$t_m$ = 1137 (точка E. 2-ой варіантъ кривой)

Значеніе β получится при этой величинѣ $t_m$:

$$\beta = 0.23$$

и уравненіе вертушки

$$v = 0.1525\, n + \sqrt{0.00807\, n^2 + 0.00769} \; . \; . \; . \; . \; . \; (16)$$

Считаясь со сложностью вычисленія β, нѣкоторыя станціи (напр. Берлинская Королевская Гидрометр. Испытательная станція) опредѣляютъ два уравненія: одно для большихъ скоростей по формулѣ (2) $v = kn$; другое – для малыхъ скоростей или по уравненію параболы (4), или по Шмидту, причемъ часто берется среднее значеніе $\beta = 0.5$.

Такъ, для „малой" вертушки Отта №: 2272 даны уравненія:

$$\left.\begin{array}{ll} 1)\ \text{для}\ n < 3,8: & v = 0,101\, n + \sqrt{0.0016\, n^2 + 0.0016} \\ 2)\ \text{для}\ n > 3,8: & v = 0,142\, n \end{array}\right\} (17)$$

При $n = 3,8$ оба уравненія даютъ одинаковый результатъ.

Совершенно Швейцарским Гидрометрическим Бюро принят еще болѣе упрощенный способъ вычисленія уравненія тарировочной кривой, примѣняемый также на тарировочной станціи Казанского Округа Путей Сообщенія. Заключается онъ въ томъ, что кривую замѣняютъ ломаной линіей изъ 2-3-4 прямолинейныхъ отрѣзковъ, сообразуясь съ проведенной приблизительно кривой. Уравненіе каждаго отрѣзка просто вычисляется по формулѣ (3) $v = \alpha + \beta n$. На станціи Каз. О.П.С. даже это послѣднее вычисленіе упрощено тѣмъ, что въ предѣлахъ каждаго участка точки дѣлятся на двѣ равныя по числу группы; для каждой вычисляется среднее ариметическое какъ абсциссъ, такъ и ординатъ; полученныя значенія $v_1$ и $v_2$ и соотв. имъ $n_1$ и $n_2$ подставляются въ уравненіе (3):

$$v_1 = \alpha + \beta n_1$$
$$v_2 = \alpha + \beta n_2 .$$

Отсюда опредѣляется $\alpha$ и $\beta$, а слѣд. и уравненіе даннаго прямолинейнаго участка.

Предѣлы дѣйствительности каждаго отдѣльнаго уравненія являются координатами точекъ пересѣченія каждой прямой съ сосѣдними. Координаты эти опредѣляются изъ совмѣстнаго рѣшенія двухъ уравненій:

$$v = \alpha_1 + \beta_1 n \text{ . . . ур. одного участка}$$
$$v = \alpha_2 + \beta_2 n \text{ . . . ур. сосѣдняго участка ,}$$

гдѣ неизвѣстными являются $v$ и $n$.

Данныя предыдущаго примѣра, сообразуясь съ видомъ тарировочной кривой (черт.45), разобьемъ на 2 группы точекъ: 1-4 и 5-13; каждую группу раздѣлимъ на двѣ равныя части 1-2 и 3-4, 5-9 и 9-13, и находимъ для каждой среднее ариметическое $v$ и $n$:

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 - 2 | $v$ = 0.144 | $n$ = 0.270 | точка a (черт.53) |
| 3 - 4 | 0.236 | 0.982 | b |
| 5 - 9 | 0.847 | 4.088 | c |
| 9 - 13 | 2.567 | 12.854 | d |

Подставимъ эти величины въ уравненіе (3):

$$0.144 = \alpha_1 + 0.270\,\beta_1$$
$$0.236 = \alpha_1 + 0.982\,\beta_1$$
$$\alpha_1 = +0.110 \;;\; \beta_1 = 0.1292 .$$

Уравненіе перваго участка (1-4) будетъ

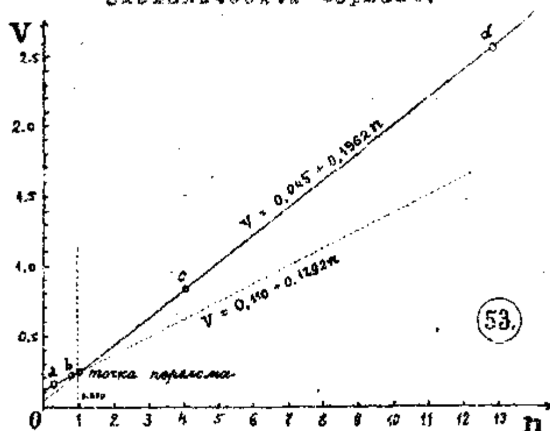
$$v = +\ 0.110 + 0.1292\ n\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ \ (18)$$

Для другого участка (5-13):

$$0.847 = \alpha_2 + 4.088\,\beta_2$$
$$2.567 = \alpha_2 + 12.854\,\beta_2$$
$$\alpha_2 = +\ 0.045\ ;\ \beta_2 = 0.1962\ .$$
$$v = +\ 0.045 + 0.1962\ n\ .\ .\ .\ .\ .\ \ (19)$$

Остается найти границу примѣненія этихъ уравненій, т.е. точку перелома тарировочной линіи; для этого рѣшимъ совмѣстно оба уравненія (18 и 19); получимъ:

$$v = 0.237$$
$$n = 0.970\ .$$




Слѣд. уравненіе (18) примѣнимо въ предѣлахъ отъ $n = 0$ до $n = 0.970$; уравненіе (19) - при бо́льшихъ значеніяхъ n. Послѣдній способъ чрезвычайно простъ, и вмѣстѣ съ тѣмъ даетъ достаточно точные результаты.

## § 24. ПОЛЬЗОВАНІЕ УРАВНЕНІЯМИ ВЕРТУШЕКЪ И ТАРИРОВОЧНЫМИ КРИВЫМИ.

Всѣ изъ разсмотрѣнныхъ уравненій вертушекъ выражаютъ ту или другую зависимость v отъ n, т.е.

$$v = f\ (n)\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ \ (20)$$

При работѣ съ вертушкою опредѣляется число оборотовъ лопастей въ секунду n, которое подставляется въ уравненіе (20), изъ котораго опредѣляется величина скорости теченія воды v. При этомъ необходимо сообразоваться съ предѣлами примѣненія той или другой формулы (сравн. ур. 17 и 18 съ 19), а также обращать вниманіе на номеръ лопасти, если онѣ у данной вертушки могутъ мѣняться.

Такъ, для вертушки Отта №1399, принадлежащей Межевому Институту, даны Мюнхенской Тарировочной Станціею въ 1910 г. слѣдующія уравненія:

1) для лопастей №1, примѣняющихся при малыхъ скоростяхъ:

$$v = 0{,}1229\ n + \sqrt{0.015104\ n^2 + 0.004445}\ (\text{метр.})\ \ldots(21)$$

2) для лопастей №2 (примѣняющихся предпочтительно при большихъ скоростяхъ):

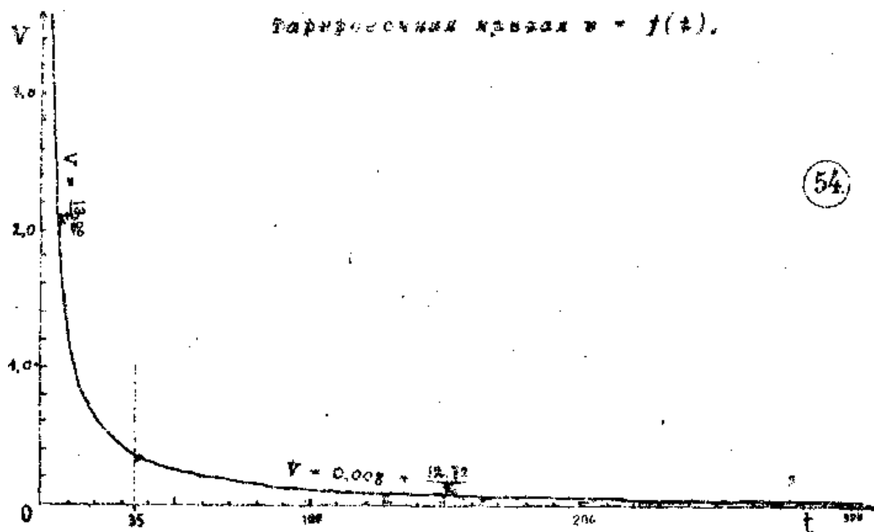
$$v = 0.1614\ n + \sqrt{0.141833\ n^2 + 0.004445}\ (\text{метр.})\ \ldots(22)$$

Для облегченія вычислительной работы рекомендуется предварительно составить таблицу значеній v при различныхъ n по данному уравненію вертушки. Напр. для лопастей №1 вертушки №1399 эта таблица можетъ быть представлена въ слѣд. видѣ:

| n | v въ метрахъ | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ,0 | ,1 | ,2 | ,3 | ,4 | ,5 | ,6 | ,7 | ,8 | ,9 |
| 0, | 0.068 | 0.080 | 0.095 | 0.113 | 0.133 | 0.154 | 0.174 | 0.196 | 0.219 | 0.242 |
| 1, | 0.264 | 0.286 | 0.310 | 0.334 | 0.357 | 0.380 | 0.403 | 0.427 | 0.451 | 0.475 |
| 2, | 0.500 | 0.524 | 0.548 | 0.572 | 0.597 | 0.621 | 0.645 | 0.669 | 0.693 | 0.717 |
| 3, | 0.742 | 0.767 | 0.791 | 0.815 | 0.840 | 0.865 | 0.890 | 0.914 | 0.939 | 0.964 |
| 4, | 0.989 | 1.014 | 1.038 | 1.063 | 1.087 | 1.111 | 1.135 | 1.160 | 1.184 | 1.209 |
| 5, | 1.233 | 1.258 | 1.283 | 1.307 | 1.331 | 1.355 | 1.380 | 1.404 | 1.429 | 1.454 |
| 6, | 1.479 | 1.504 | 1.528 | 1.552 | 1.577 | 1.601 | 1.625 | 1.650 | 1.675 | 1.699 |
| 7, | 1.723 | и | т. | д. | | | | | | |

Часто пользуются для опредѣленія скорости тарировочной кривой; это опредѣленіе никакихъ затрудненій не представляетъ. Иногда тарировочная кривая къ вертушкѣ не приложена, а дано лишь уравненіе ея. При желаніи имѣть тарировочную кривую, можно ее построить на клѣтчаткѣ, вычисливъ для нѣсколькихъ значеній n соотв. v; для проведенія кривой вблизи оси v требуется вычислить значенія v черезъ болѣе мелкіе промежутки n.

Могутъ встрѣтиться недоразумѣнія, когда уравненіе вертушки дано не въ видѣ $v = f(n)$, а $v = f(t)$, гдѣ t есть промежутокъ времени между двумя послѣдовательными звонками. Такъ, къ вертушкѣ Амслера №529 (см. черт.32) приложены уравненія:




$$\left.\begin{array}{l} 1)\ v = \dfrac{13.00}{t} \text{ при } t < 35 \text{ (для больших скоростей)} \\ 2)\ v = 0.008 + \dfrac{12.72}{t} \text{ при } t > 35 \text{ (для малых скоростей)} \end{array}\right\} (22)$$

причемъ t есть время, въ которое вертушка дѣлаетъ 50 оборотовъ.

Если построить кривую зависимости v отъ t, то это будетъ гипербола типа изображ. на черт. 54. Опредѣленіе скорости по такой кривой будетъ производиться очень неточно. Поэтому лучше предварительно преобразовать уравненія (23) въ $v = f(n)$, подставивъ въ нихъ значеніе $t = \dfrac{50}{n}$

Въ преобразованномъ видѣ уравненія (23) будутъ:

$$\left.\begin{array}{l} 1)\ v = 0.26\, n - \text{при } n > 1.43 \text{ (для большихъ скоростей)} \\ 2)\ v = 0.008 + 0.254\, n - \text{при } n < 1.43 \text{ (для мал.скор.)}\ ^{*)} \end{array}\right\} (24)$$

т.е. уравненія типа (2) и (3), примѣнительно къ методу Швейцарскаго Гидрометр.Бюро.

По уравненіямъ (24) строится кривая, которою уже и пользуются при работѣ.

---

*) Знаки > и < у n заменены по сравненію съ (22) на обратные, т.к. n и t величины взаимно обратныя.

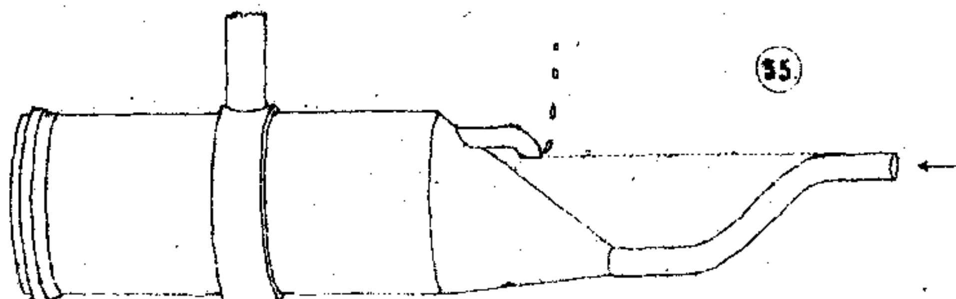
Необходимо принимать во вниманіе, что тарировочная кривая можетъ дать достаточно точные результаты только въ томъ случаѣ, когда условія, въ которыхъ работаетъ вертушка, примѣрно одинаковы съ тѣми, въ которыхъ произведена тарировка. Поэтому при работѣ въ очень мутной водѣ (во время половодья, паводка) или при низкой температурѣ (зимою, подо льдомъ), вообще говоря, слѣдовало бы пользоваться другими тарировочными данными, чѣмъ обычно. Въ частности для послѣдняго случая можно было бы произвести тарировку зимою на пруду, передвигая вертушку на саняхъ вдоль узкой проруби соотвѣтствующей длины.

## В. БАТОМЕТРЫ.

### § 25. ПРИМѢНЕНІЕ БАТОМЕТРОВЪ ДЛЯ ИЗМѢРЕНІЯ СКОРОСТЕЙ.

Батометрами (буквально „глубиномѣрами") называются приборы, служащіе для взятія пробъ воды съ различныхъ глубинъ. Обыкновенно они состоятъ изъ бутылки съ тѣмъ или инымъ приспособленіемъ для открыванія и закрыванія ея. При изученіи рѣчныхъ наносовъ Туркестана проф. Глушковъ сконструировалъ нѣсколько моделей батометровъ „длительнаго наполненія"; въ общихъ чертахъ это цилиндрическіе сосуды съ длиннымъ носкомъ малаго діаметра, черезъ который постепенно входитъ вода, вытѣсняя заключенный внутри цилиндра воздухъ (черт. 55). Такое устройство подало мысль проф. Глушкову примѣнить батометръ для измѣренія скорости воды, т.к. она

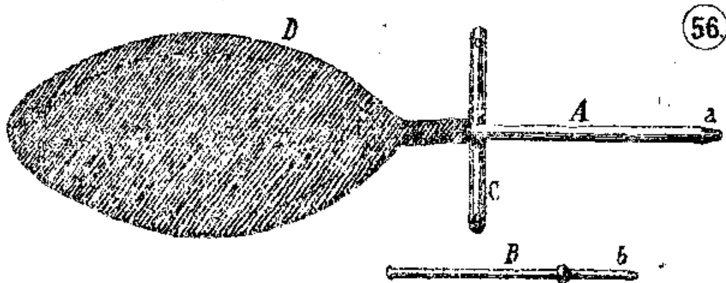
*БАТОМЕТРЪ ДЛИТЕЛЬНАГО НАПОЛНЕНІЯ.*



пропорціональна количеству воды притекающей въ приборъ въ 1 секунду. Въ дальнѣйшемъ батометръ получилъ другую конструкцію: цилиндрическій сосудъ въ немъ замѣненъ резиновымъ баллономъ, такъ что приборъ этотъ очень легокъ и портативенъ. Проф. Глушковъ назвалъ его „складнымъ батометромъ-тахиметромъ". Устройство этого батометра крайне несложно, онъ дешевъ и простъ въ обращеніи.

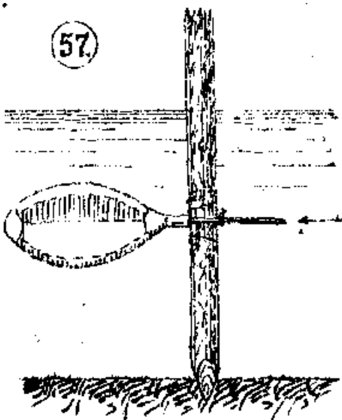
## § 26. УСТРОЙСТВО БАТОМЕТРА ГЛУШКОВА.

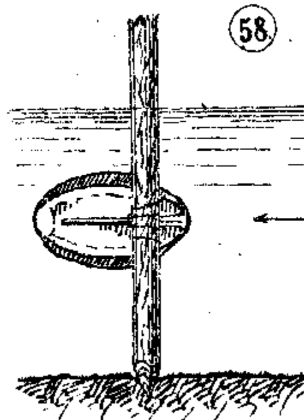
Складной батометръ-тахиметръ" состоитъ изъ резиноваго мѣшка (черт.56) и мѣдной трубки А съ заостреннымъ концомъ а. Внутрен-



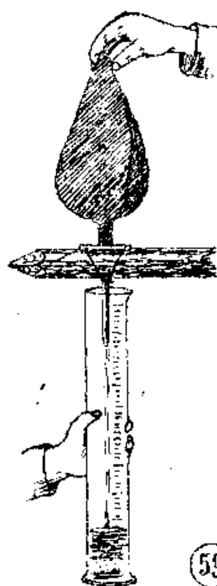

ній діаметръ трубки - около 6 мм. Для измѣренія большихъ скоростей въ трубку А вставляется трубка В съ внутр. діаметромъ 4 мм. Приборъ опускается въ воду на штангѣ или на шестѣ, къ которымъ привязывается шнуркомъ: для привязыванія служитъ стержень, С, соединенный съ трубкою А подъ прямымъ угломъ и имѣющій на концахъ дырочки.

## § 27. УПОТРЕБЛЕНІЕ БАТОМЕТРА ГЛУШКОВА.




Батометръ привязываютъ бечевками къ штангѣ или шесту такъ, чтобы трубка А была перпердикулярна къ штангѣ (черт.57); рекомендуется въ штангѣ просверлить отверстіе для про-



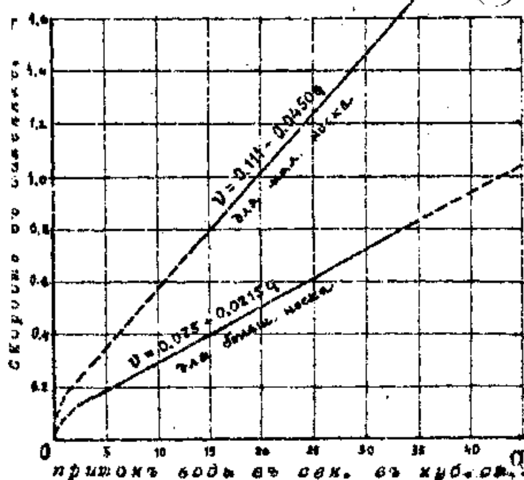
пуска этой трубки. Передъ опусканіемъ прибора въ воду изъ баллона удаляется выжиманіем почти весь воздухъ. Сначала приборъ опускають въ воду такъ, чтобы носокъ былъ поверну по теченію (черт.58). Затѣмъ штангу быстро поворачивають до того положенія, когда носокъ перпендикуляренъ къ плоскости живого сѣченія и направленъ противъ теченія,(черт. 57), и въ тотъ же моментъ пускаютъ въ ходъ секундомѣръ. Вода черезъ носокъ входитъ въ баллонъ и постепенно его наполняетъ.

Когда баллонъ на ¾ (не свыше 900 куб. см.) наполнится водою, одновременно останавливаютъ секундомѣръ и отворачиваютъ штангу. Приборъ вмѣстѣ со штангою вынимается из воды и измѣряется объемъ воды, притекшей въ баллонъ, для чего вода изъ него выливается въ мензурку (черт.59 или же сначала на пружинныхъ вѣсахъ опредѣляется вѣсъ воды, который переводится на объемъ (1 грам. = 1 куб. см.) Скорость теченія опредѣляется по объему воды, притекшей въ батометръ въ 1 сек., на основаніи данныхъ тарировки.

## § 28. ТАРИРОВКА БАТОМЕТРОВЪ.

Тарировка батометровъ въ общемъ производится такъ же, какъ вертушекъ. Опредѣляется объемъ воды Q, набранной батометромъ во время t, въ которое телѣжка или лодка прошла путь s. Отсюда опредѣляется притокъ воды въ 1 сек. $q = \frac{Q}{t}$ и скорость $v = \frac{s}{t}$. Детальныя изслѣдованія при помощи самопишущихъ приборовъ здѣсь не примѣнимы, т.к. каждая поѣздка даетъ только одну величину объема, слѣдовательно и одинъ результатъ.

Зависимость между величинами q и v выражается или уравненіемъ, или тарировочною кривою, какъ для вертушекъ, съ тою лишь разницею, что, какъ показали опыты, тарировочная кривая батометра лишь въ началѣ представляетъ кривую; при q > 2-3 куб.см




въ сек. ее можно принимать за прямую и примѣнять уравненіе типа (3) (см. § 23):

$$v = \alpha + \beta q \quad . \quad . \quad (25)$$

Т. к. каждый батометръ снабженъ добавочнымъ вставнымъ носкомъ для измѣренія большихъ скоростей, то должны быть построены двѣ тарировочныя кривыя (черт. 60). На чертежѣ сплошными линіями проведены кривыя въ предѣлахъ тѣхъ скоростей при которыхъ рекомендуется примѣнять тотъ или другой носокъ.

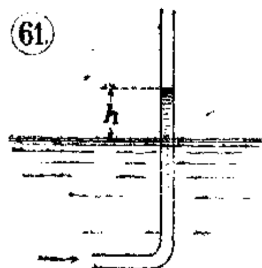
Уравненія этихъ прямыхъ для батометра №108 слѣдующія:

$$\left.\begin{array}{l} 1)\ v = 0.111 + 0.0450\ q \text{ - для носка малаго діаметра} \\ 2)\ v = 0.075 + 0.0215\ q \text{ - для носка большаго діам.} \end{array}\right\} (26)$$

(величина $v$ выражена въ саж., $q$ – въ куб. см. въ 1 сек.)

## С. ДИНАМОМЕТРЫ.

### § 29. ТРУБКА ПИТО.




Въ 1732 г. Пито предложилъ для измѣренія скорости воды трубку, согнутую подъ прямымъ угломъ, открытую съ обоихъ концовъ. Такая трубка (черт. 61) погружается въ воду такъ, чтобы одно колѣно ея было горизонтально и направлено противъ теченія, другое – вертикально. Уровень воды въ трубкѣ поднимется выше, чѣмъ горизонтъ воды въ рѣкѣ; вѣсъ столбика воды высотою $h$ будетъ уравновѣшивать давленіе движущейся воды на воду, находящуюся въ труб-

къ. Теоретически:

$$v = \sqrt{2gh},$$ гдѣ $g$ — ускореніе силы тяжести . . . . (27)

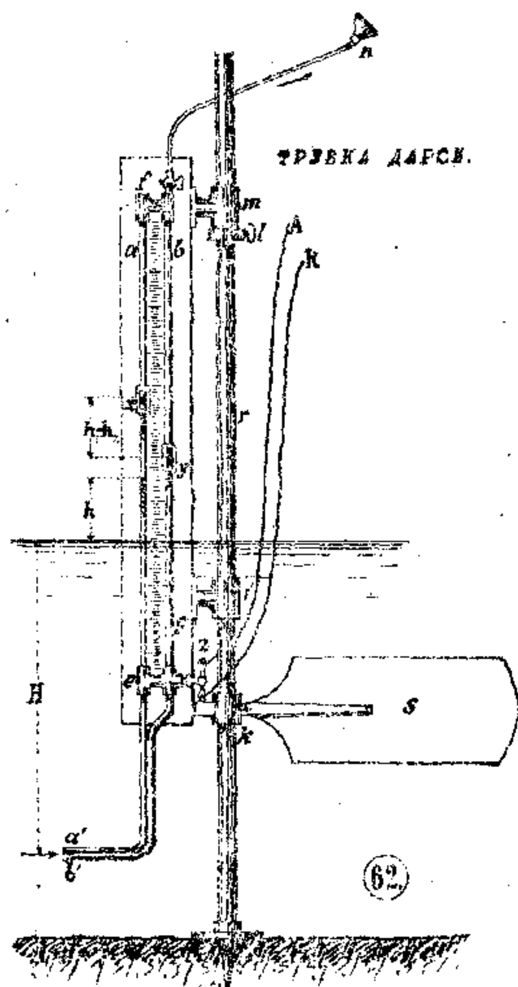
въ дѣйствительности же, вслѣдствіе тренія воды о стѣнки трубки:

$$v = \varphi \sqrt{2gh},$$ гдѣ $\varphi$ — коэффиціентъ скорости . . . (28)

или

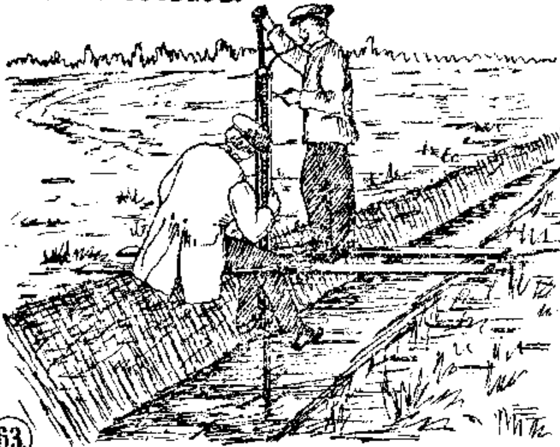
$$\mu = \varphi \sqrt{2g} \quad и \quad v = \mu \sqrt{h} \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (29)$$

Значеніе постояннаго $\mu$ опредѣляется для каждаго прибора тарированіемъ его. Для опредѣленія скорости теченія воды необходимо измѣрить высоту $h$; иногда для отсчета этой высоты примѣняется маленькая реечка на поплавкѣ, опущенная въ трубку.




## § 30. ТРУБКА ДАРСИ.

Усовершенствованія Дарси сдѣлали трубки болѣе пригодными для практическихъ цѣлей. Приборъ Дарси состоитъ изъ 2 стеклянныхъ трубокъ $a$ и $b$ (черт.62), прикрѣпленныхъ къ доскѣ $g$ со шкалою. Внизу эти трубки переходятъ въ мѣдныя изогнутыя подъ прямымъ угломъ трубки $a'$ и $b'$. Доска $g$ прикрѣпляется къ штангѣ $r$ при посредствѣ муфтъ $i$, $m$ и $k$; руль $s$ устанавливаетъ приборъ, чтобы отверстіе трубки $a'$ было направлено противъ теченія. Когда приборъ погруженъ въ воду и кранъ $n$ открытъ, вода поднимается въ трубкѣ $a$ (отверстіе которой $a'$ сдѣлано въ концѣ трубки), выше, чѣмъ въ трубкѣ $b$, имѣющей отверстіе $b'$ сбоку, т.е. параллельное теченію. Верхніе концы тру-



(63)

бокъ входятъ въ общую обойму f, съ которою при посредствѣ крана соединена резиновая трубка n. Всасывая воздухъ черезъ трубку n, можно поднять воду въ обѣихъ трубкахъ одновременно на высоту, удобную для отсчитыванія по шкалѣ, и закрыть кранъ у f. Послѣ этого при посредствѣ шнурковъ A и B слѣдуетъ закрыть кранъ z, установить указатели x и y противъ уровней воды въ трубкахъ и сдѣлать по шкалѣ отсчеты $h_1$ и $h_2$. Искомая скорость на глубинѣ H будетъ равна:

$$v = \mu\sqrt{h_1 - h_2} = \mu\sqrt{h} \quad . . . . . . . . . . . \quad (30)$$

Величина коэффиціента $\mu$ зависитъ отъ особенностей устройства каждаго прибора: соотношенія между діаметрами входныхъ отверстій и стеклянныхъ трубокъ (для уменьшенія колебаній уровней эти отверстія дѣлаются возможно меньше, < 1 мм.), матеріала, изъ котораго сдѣланы трубки и т.д. Средняя величина $\mu$ = 4,5 (для метр. мѣръ), колебанія отъ 3,5 до 5,1.

Если трубка погружается въ воду настолько, что по шкалѣ нельзя сдѣлать отсчетовъ, то въ трубку n нагнетается воздухъ; для отсчета приходится вынимать приборъ изъ воды.

## § 31. ДРУГІЕ ТИПЫ ТРУБОКЪ.

Риттеръ видоизмѣнилъ трубку Дарси, приспособивъ къ ней манометръ для опредѣленія разности давленій въ трубкахъ. Трубк Риттера (черт.64) подвѣшивается на троссѣ и нагружается гирями g. Руль устанавливаетъ трубки a и b противъ теченія (отверстіе у b сдѣлано сбоку). Трубки въ камерѣ c изогнуты нѣсколько разъ по спирали (длина ихъ получается больше метра). Оттуда трубки идутъ къ манометру. Вода, входящая въ трубки, производитъ давленіе на заключенный въ нихъ воздухъ. Наблюдатель от-

считываетъ разность давленій по манометру и по разности опредѣляетъ скорость.

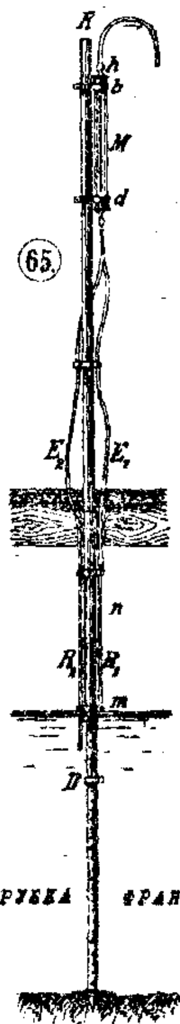
Франкъ изобрѣлъ трубку для измѣренія сразу средней скорости по вертикали. Его приборъ (черт.65) состоитъ изъ металлической полой штанги R съ рядомъ отверстій съ одной стороны. Франкъ предполагалъ, что вода, входя черезъ отверстія, поднимется въ трубкѣ (т.е. штангѣ) на высоту, соотвѣтствующую средней скорости по вертикали; однако оказалось, что приборъ даетъ неточные результаты; это, повидимому объясняется тѣмъ, что внутри трубки, вслѣдствіе разности давленій воды на различныя отверстія, происходитъ передвиженіе воды. Для удобства отсчитыванія Франкъ сконструировалъ манометръ М особаго устройства, который соединяется трубками $E_1$ и $E_2$ съ муфтою n, передвигаемой по штангѣ до поверхности воды.

ТРУБКА РИТТЕРА.

## § 32. ТАРИРОВКА ТРУБОКЪ.

Способъ тарировки передвиженіемъ прибора въ стоячей водѣ для трубокъ почти непримѣнимъ. Единственно точнымъ способомъ можетъ быть измѣреніе скоростей параллельно трубкою и какимъ либо другимъ приборомъ, напримѣръ, вертушкою съ извѣстными постоянными, или же измѣреніе расхода, опредѣляемаго, кромѣ того другимъ путемъ, напр. непосредственнымъ измѣреніемъ. Обычно опредѣляется среднее значеніе коэффиціента μ. Тарировочная кривая для трубокъ - парабола 2 порядка (черт.66). Если по горизонтальной оси откладывать не h, а значенія $\sqrt{h}$, то кривая обратится въ прямую, и μ будетъ равно tg угла, образуемаго этою прямою съ гориз. осью.

## § 33. ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ТРУБОКЪ.




ТРУБКА ФРАНКА.

Къ достоинствамъ трубокъ принадлежатъ:

1) отсутствіе изнашивающихся, подвижныхъ частей и связанная съ этимъ неизмѣняемость тарировочнаго коэффиціента;

2) то, что при измѣреніи скоростей трубками не надо измѣрять время, слѣд. работа облегчается.

Однако трубки примѣняются сравнительно рѣдко, только въ гидравлическихъ лабораторіяхъ и на небольшихъ руслахъ, т.к.:

1) измѣряютъ мгновенную скорость (въ моментъ запиранія крана), которая можетъ колебаться въ значительныхъ предѣлахъ въ зависимости отъ явленія пульсаціи (см. § 44); для полученія необходимой средней скорости въ данной точкѣ приходится дѣлать многократныя наблюденія (до 30 и даже 60), что сильно замедляетъ работу;

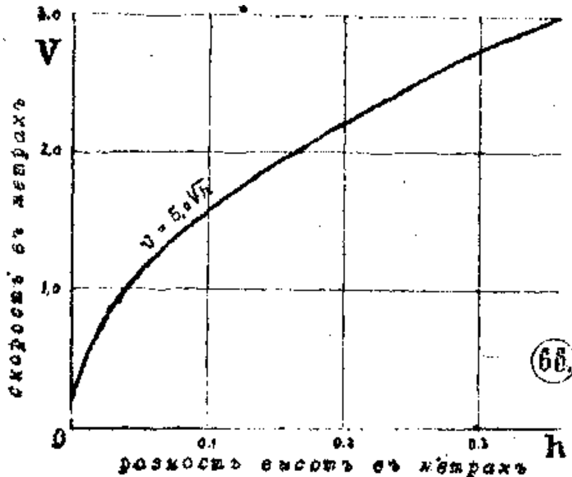
2) тарировка трубокъ очень затруднительна;

3) трубки не пригодны для большихъ глубинъ;

4) при небольшихъ скоростяхъ разность давленій (высотъ уровня) въ трубкахъ очень мала - меньше ошибокъ отсчитыванія. Для увеличенія точности отсчитыванія Гизелеръ предложилъ примѣнить идею дифференціальнаго жидкостнаго манометра: въ пространство внутри трубокъ Дарси можно влить керосина, удѣльный вѣсъ котораго меньше, чѣмъ воды (около 0,9); въ этомъ случаѣ разность уровней увеличивается обратно пропорціонально разности удѣльныхъ вѣсовъ (1 - 0,9 = 0.1), т.е. примѣрно въ 10 разъ и относительная ошибка отсчета уменьшается также въ 10 разъ. Безъ такого приспособленія трубкою нельзя измѣрять скорости, меньшія 0.3 метра.

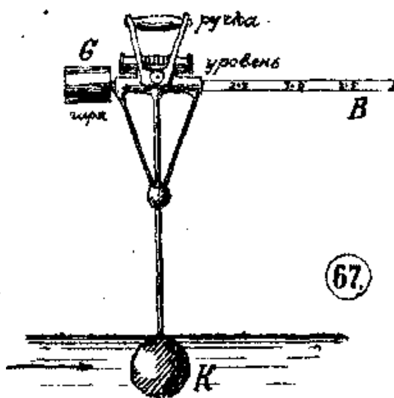
Трубки съ успѣхомъ можно примѣнять для измѣренія большихъ скоростей въ тонкой струѣ воды, напр. въ водоприводныхъ мельничныхъ лоткахъ, а также на сливномъ полу водоподъемныхъ плотинъ и т.п.

## § 34. ДИНАМОМЕТРЫ ДРУГИХЪ СИСТЕМЪ.



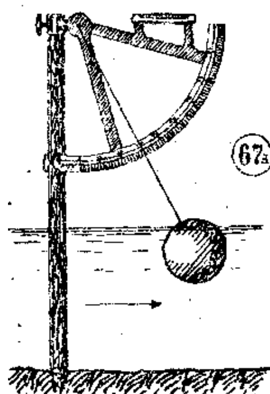

Кромѣ трубокъ, для измѣренія скорости воды по давленію, былъ предложенъ цѣлый рядъ приборовъ, различными способами измѣряющихъ это давленіе. Приборы эти имѣютъ лишь историческое значеніе, т.к. вслѣдствіе громоздкости и небольшой точности не вошли въ употребленіе. Къ приборамъ этой группы принадлежатъ:

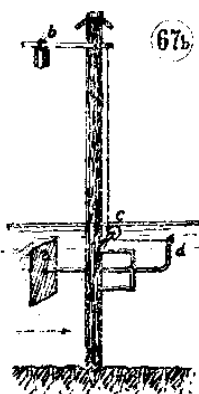
1) Вѣсовой динамометръ Мейнеке (черт.67) для измѣренія поверхностныхъ скоростей. Приборъ состоитъ изъ безмена GB, къ которому на стержнѣ подвѣшенъ шаръ K. Давленіе воды, отгоняющее шаръ, а вмѣстѣ съ этимъ отклоняющее безменъ отъ горизонтальнаго положенія, что опредѣляется по уровню, прикрѣпленному къ безмену, - уравновѣшивается передвиганіемъ гири G безмена. Зависимость между показаніемъ безмена и скоростью воды опредѣляется на основаніи предварительной тарировки.




2) Гидрометрическій маятникъ или рѣчной квадрантъ (черт.67 а) изобрѣтенный Кастелли, ученикомъ Галилея въ 17 вѣкѣ. Скорость опредѣляется по углу отклоненія отъ вертикальнаго положенія нити, на которой подвѣшенъ шаръ; уголъ отсчитывается по лимбу.

3) Тахометръ Брюнинга (черт. 67 b) измѣряетъ давленіе воды на площадку a, устанавливаемую перпендикулярно къ направленію теченія воды; давленіе при посредствѣ нити и рычага d черезъ блокъ δ передается безмену b. Приборъ можетъ примѣняться для различныхъ глубинъ.

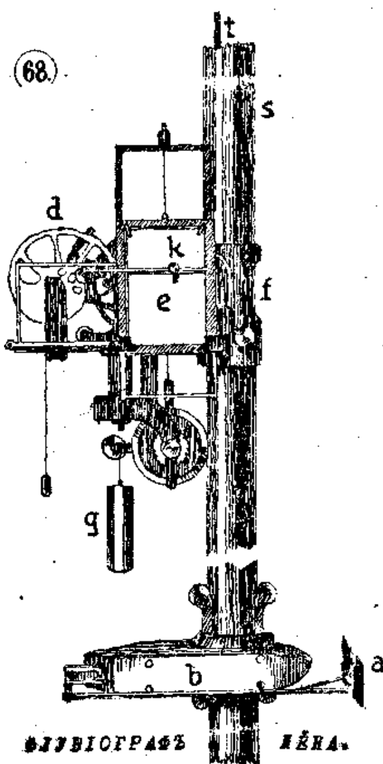



РѢЧНОЙ КВАДРАНТЪ. ТАХОМЕТРЪ БРЮНИНГА.

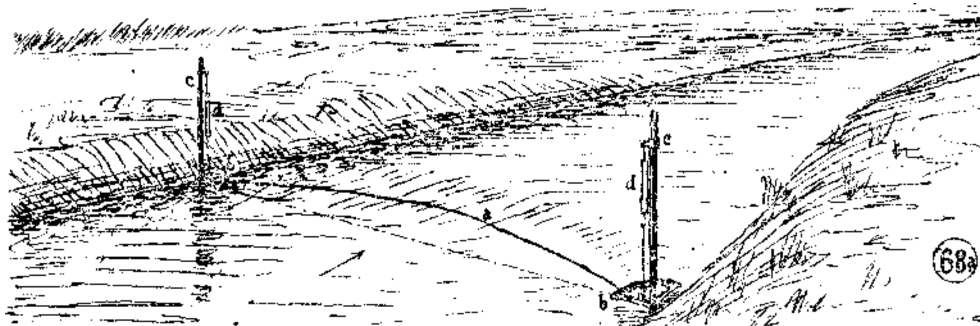
Воспользовавшись идеею этого тахометра, Франкъ (въ 1885 г.) сконструировалъ приборъ, который записывалъ скорость на различныхъ глубинахъ по давленію на площадку, передвигаемую постепенно отъ поверхности къ дну. Детально разработана эта конструкція проф.Шёномъ въ Вѣнѣ (von Schoen).

4) Флувіографъ проф. Шёна (черт.68) имѣетъ очень сложное устройство: давленіе на пластинку a, которая вмѣстѣ съ муфтою b можетъ передвигаться по штангѣ S, передается при посредствѣ проволоки, перекинутой черезъ блокъ и уравновѣшиваемой грузомъ g, механизму, записывающему на листѣ e карандашемъ k величину скорости, пропорціональную давленію.




ФЛУВІОГРАФЪ ШЁНА.

Къ приборамъ этой группы необходимо отнести оригинальное изобрѣтеніе Вильямса (Williams) - „гидрометрическій троссъ" (или шнуръ), предназначенный для измѣренія средней скорости водотока на различныхъ глубинахъ, сразу по всей ширинѣ его; преимущественно это относится къ измѣренію средней поверхностной скорости для всего водотока. Приборъ состоитъ изъ 2 штангъ (черт.68 a), снабженныхъ лимбами въ 1/4 окружности для измѣренія угловъ отклоненія тросса, угоняемаго теченіемъ воды, и пружинныхъ динамометровъ для измѣренія натяженія концовъ тросса. По величинѣ натяженія, длинѣ тросса и ширинѣ рѣки опредѣляется средняя скорость на той глубинѣ, на которой натянутъ троссъ.




ГИДРОМЕТРИЧЕСКІЙ ТРОССЪ ВИЛЬЯМСА.

## D. ПОПЛАВКИ.

### § 35. ПОВЕРХНОСТНЫЙ ПОПЛАВОКЪ.

Самыя простыя приспособленія для измѣренія скоростей - поплавки; изъ нихъ чаще всего примѣняется поверхностный поплавок. Такимъ поплавкомъ можетъ служить шаръ, нагруженный дробью (черт.69, a), бутылка, наполовину наполненная водою и закупоренная (b), кусокъ дерева, льди или какой-нибудь другой предметъ. Часто поплавки изготовляютъ изъ дерева, распиливая бревно на кружки, 1-2 дюйма толщины (c); такіе поплавки очень дешев



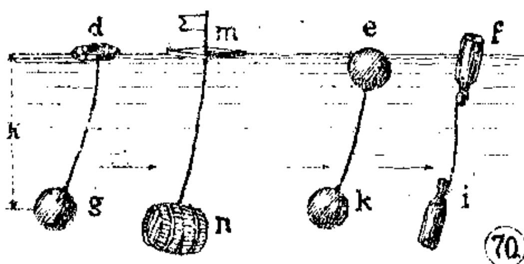

Поплавокъ опускается на воду такъ, чтобы почти весь онъ былъ погруженъ въ воду; тогда, если на него не будетъ оказывать вліянія вѣтеръ, поплавокъ будетъ передвигаться съ тою скоростью, съ какою движется окружающая его вода. Скорость движенія поплавка опредѣляется по времени t, въ которое поплавокъ проходитъ измѣренное разстояніе s саж.:

$$v_{пов} = \frac{s}{t} \text{ саж. въ сек.} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (31)$$

гдѣ $v_{пов}$ есть скорость у поверхности воды, измѣряемая поплавкомъ

## § 36. ГЛУБИННЫЙ И ДВОЙНОЙ ПОПЛАВКИ.

Если поплавокъ, напр. шаръ (черт.70, g) нагрузить такъ, чтобы онъ совсѣмъ погрузился въ воду, и привязать къ легкому поверхностному поплавку d, служащему указателемъ глубиннаго поплавка g, то можно пренебречь вліяніемъ воды на нить и поплавокъ-указатель, и считать, что скорость этого поплавка будетъ равна скорости на глубинѣ h; глубина погруженія шара g считается равной длинѣ нити, на которой подвѣшенъ шаръ. При работахъ на р. Миссисипи, гдѣ глубина достигала 20 саж., поплавокъ изготовлялся изъ доски m (черт.70) съ флажкомъ, къ которой на канатѣ привязывался боченокъ съ дробью.




Лучшіе результаты даетъ примѣненіе двойного поплавка, когда оба поплавка - глубинный k (черт.70) и поверхностный e равны по объему и возможно близки по вѣсу. Для опредѣленія скорости $v_k$ на глубинѣ погруженія поплавка k производится измѣреніе дважды: одинъ разъ выпускаются оба поплавка, какъ показано на чертежѣ, и измѣряется скорость $v_z$, другой разъ пускается одинъ только поплавокъ поверхностный, скорость котораго пусть будетъ $v_e$. Если считать, что скорость $v_z$ есть средняя ариѳметическая скоростей обоихъ поплавковъ, $v_e$ и $v_k$, т.е.

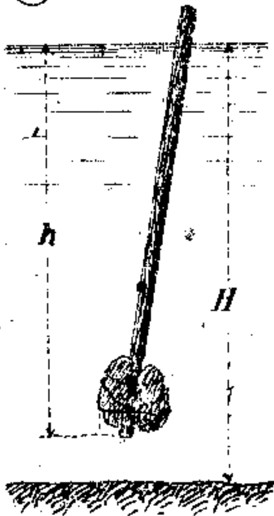
$$v_z = \frac{v_e + v_k}{2},$$

то

$$v_k = 2v_z - v_e \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (32)$$

## § 37. ГИДРОМЕТРИЧЕСКІЙ ШЕСТЪ.

Для измѣренія средней скорости по вертикали примѣняется поплавокъ въ видѣ шеста съ однимъ загруженнымъ концомъ; поплавокъ этотъ носитъ названіе гидрометрическаго шеста или жезла. Въ водѣ шестъ располагается нѣсколько наклонно вслѣдствіе различія ско-



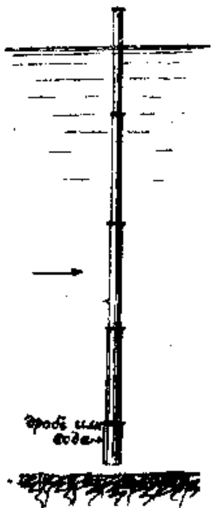

ростей. Наблюденія производятся по верхнему концу шеста (черт.71), выступающему изъ воды. Если шестъ погруженъ въ воду почти до дна рѣки, то скорость его движенія принимается за среднюю скорость по вертикали. Можно принять, что при глубинѣ погруженія гидрометрическаго шеста h, когда h больше 0,94 всей глубины H, онъ будетъ двигаться со скоростью, равной средней скорости по вертикали $v_h$; при меньшей глубинѣ h можно ввести поправку въ результатъ по формулѣ Фрэнсиса:

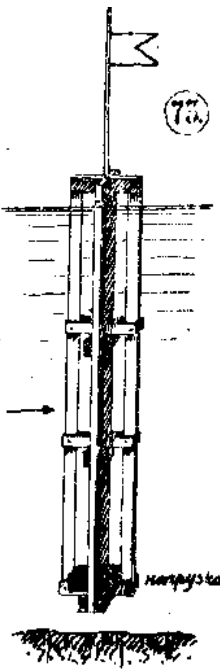
$$k = 1,0116 - 0,116\sqrt{\frac{H-h}{H}} \quad , \ldots (33)$$

$$v_h = kv' \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (34)$$

гдѣ $v'$ - измѣренная скорость.

ГИДРОМЕТРИЧЕСКІЕ ШЕСТЫ.



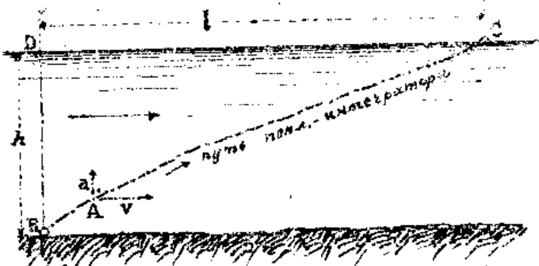




Впервые гидрометрическій шестъ былъ примѣненъ іезуитомъ Кабео въ 1646 г. въ видѣ жестяной трубки. Такого типа шестъ употребляется понынѣ: онъ составляется изъ ряда желѣзныхъ трубокъ, навинчиваемыхъ, по мѣрѣ надобности, до необходимой длины; нижняя трубка загружается дробью или водою (черт.72). При работахъ на р. Зеѣ трубки изъ луженаго желѣза длиною въ 1 арш. могли наращиваться до 3 саж.; діаметръ трубокъ - 10-12 см., толщина стѣнокъ 1-2 мм.

Деревянные шесты, примѣнявшіеся на Эльбѣ, изготовлялись изъ нѣсколькихъ брусковъ (черт.73), которые соединялись крестовинами и загружались кусками желѣза.

## § 38. ПОПЛАВОКЪ - ИНТЕГРАТОРЪ.

Простымъ и въ то же время точнымъ способомъ можетъ быть опредѣлена средняя скорость по вертикали при примѣненіи всплывающаго или тонущаго „поплавка-интегратора". Если предоставить небольшому поплавку медленно всплывать отъ дна до поверхности воды, или тонуть въ обратномъ направленіи, то скорость его вертикальнаго перемѣщенія будетъ постоянною, и поплавокъ, пройдя постепенно слои воды съ различными скоростями, будетъ снесенъ на величину l, зависящую отъ средней скорости по вертикали $v_h$ (черт.74).

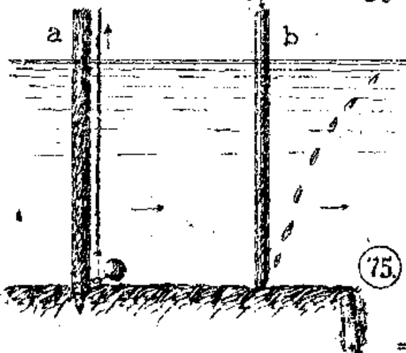



$$v_h = \frac{l}{t} \quad . . . . (35)$$

гдѣ t - время всплыванія или погруженія.

Пусть скорость вертикальнаго передвиженія поплавка будетъ a; въ каждомъ слоѣ воды, высотою dh, поплавокъ пробудетъ время $dt = \frac{dh}{a}$, при средней скорости этого слоя, равной v, поплавокъ будетъ снесенъ внизъ по теченію на горизонтальное разстояніе $dl = vdt$. Величина всего сноса

$$l = \int_0^t dl = \int_0^t vdt = \int_0^h \frac{vdh}{a} = \frac{1}{a}\int_0^h vdh \quad . . . . . . . . . (36)$$




Средняя скорость по вертикали

$$v_h = \int_0^h \frac{vdh}{h}, \quad . . . . . . . . (37)$$

слѣдовательно

$$\int_0^h vdh = v_h . h \quad . . . . (38)$$

Подставимъ значеніе (38) въ уравненіе (36):

$$l = \frac{v_h . h}{a} \quad . . . . . . . . . . . . . (39)$$

откуда:

$$v_h = \frac{al}{h}, \quad . . . . . . . . . . . . . . (40)$$

но $\frac{h}{a}$ = t - продолжительность всплыванія поплавка, и окончательно

$$v_k = \frac{l}{t} \ldots\ldots\ldots\ldots (35)$$

(замѣчательна аналогія съ формулою (31) для поверхностнаго поплавка). Всплывающій поплавокъ можно осуществить различнымъ образомъ, напр. прикрѣплять деревянный шарикъ ниткою къ веревкѣ, пропущенной черезъ колечко внизу у деревяннаго шеста (черт.75 а). Если дернуть за веревку, нитка обрывается и шарикъ освобождается Шарикъ слѣдуетъ нагружать дробью, чтобы онъ медленнѣе всплывалъ. Для измѣренія величины сноса, къ шесту прикрѣпляется лента или линейка, которая располагается на поверхности воды внизъ по теченію Время опредѣляется, какъ при работѣ вертушкою.

Если предварительно (въ стоячей водѣ или даже рѣкѣ) „протарировать" поплавокъ, опредѣливъ скорость а его всплыванія, то можно при работѣ обойтись безъ измѣренія времени. По глубинѣ h и времени всплыванія t во время „тарировки" поплавка опредѣляется

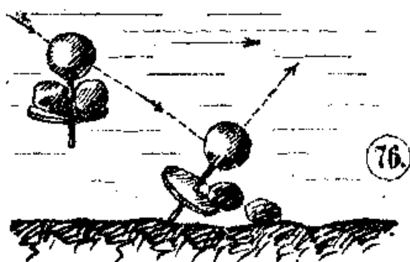
$$a = \frac{h}{t} \ldots\ldots\ldots\ldots (41)$$

Тогда во время работы $v_k$ вычисляется по формулѣ:

$$v_k = \frac{l}{t} = \frac{la}{h} \ldots\ldots\ldots\ldots (42)$$

Вмѣсто деревяннаго шарика можно примѣнять въ качествѣ поплавка - интегратора подкрашенное масло, которое вдувается черезъ трубку, опущенную до дна (черт.75, b).

Проф. Глушковъ, между прочимъ, предлагаетъ типъ поплавка сперва тонущаго, затѣмъ всплывающаго. Къ деревянному шарику надо прикрѣпить стержень съ полочкою, загружаемою камешками (черт.76). При опусканіи на воду поплавокъ тонетъ, по достиженіи дна онъ наклоняется и, лишившись груза, всплываетъ.




Пусть скорость вертикальнаго погруженія нагруженнаго поплавка = $a_1$, скорость вертикальнаго всплыванія = $a_2$. По предыдущему (40) величина сноса при погруженіи

$$l_1 = \frac{v_k . h}{a_1},$$

при всплываніи

$$l_2 = \frac{v_k \cdot h}{a_2};$$

полная величина сноса $l = l_1 + l_2 = v_k\left(\frac{h}{a_1} + \frac{h}{a_2}\right)$ . . . . . . . (43)

такъ какъ $\frac{h}{a_1} = t_1$ (время погруженія); $\frac{h}{a_2} = t_2$ (время всплыванія), то

$$l = v_k\ (t_1 + t_2) = v_k \cdot t \quad \ldots\ldots\ldots (44)$$

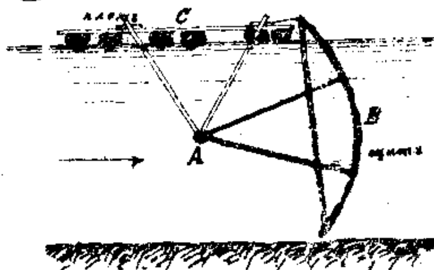
гдѣ t - время пребыванія поплавка подъ водою; отсюда:

$$v_k = \frac{l}{t} \quad \ldots\ldots\ldots (45)$$

Въ этомъ случаѣ величина полнаго сноса l есть разстояніе отъ точки погруженія поплавка до точки его всплытія.

Для устраненія вліянія пульсаціи (см. § 44) необходимо на одной вертикали выпускать нѣсколько поплавковъ.

Видоизмѣненіемъ поплавка-интегратора для измѣренія средней поверхностной скорости рѣки можетъ служить лодка, равномѣрно переплывающая рѣку, причемъ она все время располагается перпендикулярно къ берегамъ; по достиженіи противоположнаго берега лодка точно такъ же возвращается обратно. Полная величина сноса, измѣряемая по берегу, дѣленная на время переѣзда, дастъ искомую скорость.




Къ поплавкамъ слѣдуетъ отнести щитъ, предложенный шведскимъ проф. Андерсономъ для измѣренія сразу средней скорости всего сѣченія водотока. Это - плоскій или цилиндрическій (черт.77) щитъ, прикрѣпленный къ плоту или къ телѣжкѣ, двигающейся по рельсамъ. Щитъ употребляется на каналахъ, приводящихъ воду къ турбинамъ, т.к. тамъ требуется быстрое опредѣленіе расхода; при правильномъ прямоугольномъ сѣченіи канала щитъ преграждаетъ собою почти всю площадь сѣченія и передвигается водою со скоростью, близкою къ средней для всего сѣченія.

## ГЛАВА III. РАСПРЕДѢЛЕНІЕ СКОРОСТЕЙ ВЪ ЖИВОМЪ СѢЧЕНІИ.

Прежде, чѣмъ перейти къ изложенію методовъ производства измѣреній гидрометрическими приборами, необходимо нѣсколько освѣтить тѣ основанія, которыя привели изслѣдователей гидрометріи къ примѣняемымъ въ настоящее время методамъ, имѣющимъ цѣлью точно, возможно скорѣе и съ наименьшей затратою силъ и средствъ опредѣлить расходъ водотока. Главы III и IV посвящены распредѣленію скоростей въ водотокѣ и методамъ вычисленія расхода.

### § 39. ИЗОТАХИ.

Поперечное сѣченіе водотока, ограниченное профилемъ дна и линіею поверхности воды (урѣзомъ воды), носитъ названіе живого сѣченія. Въ различныхъ точкахъ живого сѣченія скорости теченія различны, т.к. вслѣдствіе тренія частицъ воды о стѣнки русла, скорость постепенно уменьшается при приближеніи къ дну и берегамъ водотока. Наибольшая скорость можетъ быть найдена гдѣ-нибудь посреди рѣки на поверхности ея или неглубоко подъ поверхностью. Вліяніе тренія о стѣнки русла на замедленіе движенія можетъ быть прекрасно подтверждено зимою, когда оказываетъ точно также же вліяніе ледяной покровъ. Наибольшая скорость въ рѣкѣ, скованной льдомъ, можетъ быть измѣрена въ точкѣ, гораздо болѣе удаленной отъ поверхности воды, чѣмъ лѣтомъ.

Для изображенія распредѣленія скоростей въ живомъ сѣченіи примѣняется проведеніе изотахъ, линій равныхъ скоростей, по аналогіи съ изображеніемъ рельефа земной поверхности при помощи изогипсъ-горизонталей.

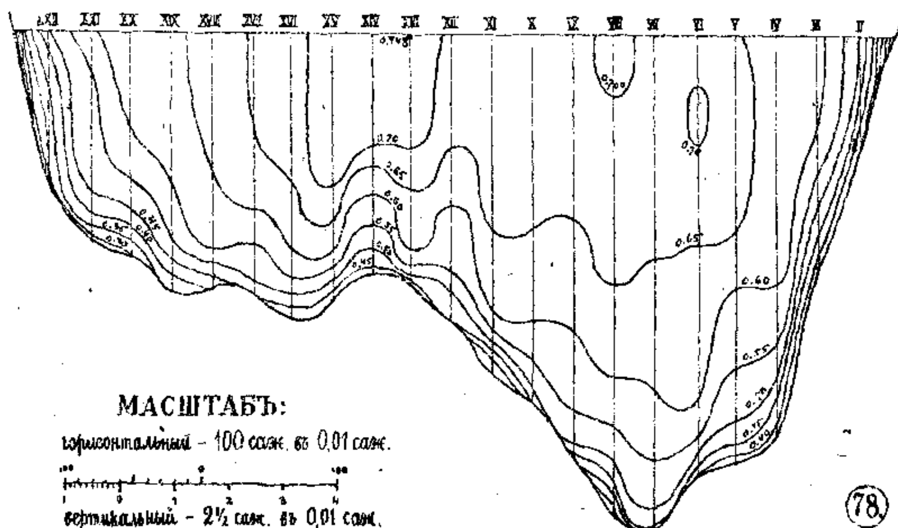
Точное проведеніе изотахъ основывается на предварительномъ построеніи кривыхъ распредѣленія скоростей по вертикалямъ и горизонталямъ (см.§§ 40 и 42), въ остальномъ же производится такъ же, какъ проведеніе горизонталей поверхности земли. Для примѣра приведенъ профиль живого сѣченія р. Волги у Самары съ изотахами по измѣреннымъ 1 мая 1890 г. скоростямъ въ 122 точкахъ живого сѣченія; изотахи проведены черезъ 0.05 саж. (черт.78: масштабъ вертикальный въ 40 разъ больше горизонтальнаго).

Затрудненія при проведеніи изотахъ могутъ возникнуть въ

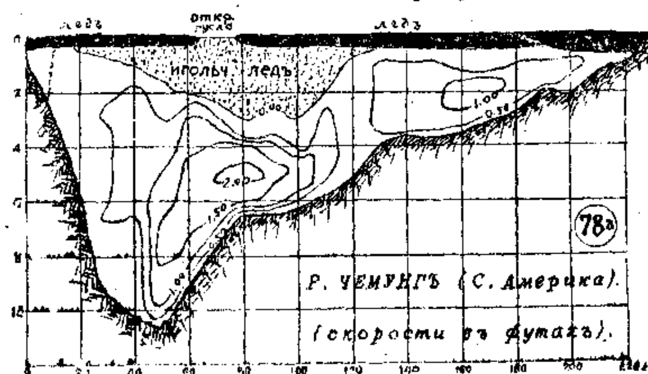
РАСХОДЪ № 62. $Q = 2071,5$ Р. ВОЛГА, у САМАРЫ.

$H = 11,19$
$V = 0,590$
$V_{max} = 0,748$

$F = 3512,6$
$i = 0,000051$
$R = 5,41$




тѣхъ мѣстахъ живого сѣченія, которыя въ изотахахъ изображаются подобно вершинамъ и сѣдловинамъ земной поверхности; затрудненія эти вызваны тѣмъ, что въ то время, какъ при топографической съемкѣ выбираются характерныя точки элементовъ рельефа-вершинъ сѣдловинъ, лощинъ и т.д., гидрометру приходится вести работу, какъ въ дремучемъ лѣсу, прокладывая наугадъ просѣки, т.е. измѣряя скорости по вертикалямъ черезъ нѣкоторыя разстоянія; въ предѣлахъ же между вертикалями приходится проводить изотахи болѣе или менѣе приближенно, сообразуясь съ общимъ ихъ характеромъ.

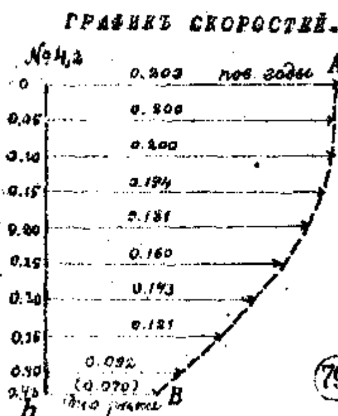



При существованіи ледяного покрова общій характеръ изотахъ значительно измѣняется (черт. 78 а). Распредѣленіе скоростей, кромѣ причинъ, указанныхъ выше, зависитъ отъ

характера нижней поверхности льда, отъ присутствія доннаго льда и игольчатаго льда; послѣдній можетъ иногда заполнять собою большую часть живого сѣченія.

## § 40. РАСПРЕДѢЛЕНІЕ СКОРОСТЕЙ ПО ВЕРТИКАЛИ.

Изученіемъ распредѣленія скоростей на различныхъ глубинахъ одной и той же вертикали живого сѣченія занимались многочисленные изслѣдователи, начиная съ Галилея и Леонардо да-Винчи, стремившіеся установить математическую зависимость между глубиною и скоростью воды на этой глубинѣ. Эта зависимость проще всего выражается графически - при помощи построенія кривой распредѣленія скоростей по вертикали, т.наз. графика скоростей: по вертикальной оси откладываются внизъ глубины h; измѣренныя на этихъ глубинахъ скорости v изображаются въ видѣ горизонтальныхъ отрѣзковъ, концы которыхъ соединяются плавною кривою линіею. Такъ какъ конструкція гидрометрическихъ приборовъ не даетъ возможности измѣрять скорость непосредственно у самаго дна потока, то приходится кривую продолжить до дна (экстраполяціей). На черт.79 показано построеніе графика скоростей для одной изъ вертикалей р. Яузы. На вертикали, глубиною въ 0.43 саж. были измѣрены вертушкою скорости на глубинахъ 0,05, 0.10, 0.15 и т.д. саж., и, кромѣ того, поверхностнымъ поплавкомъ - скорость на поверхности воды. Донная скорость опредѣлена по чертежу - экстраполяціей; Кривая AB и будетъ графикомъ скоростей для данной вертикали.



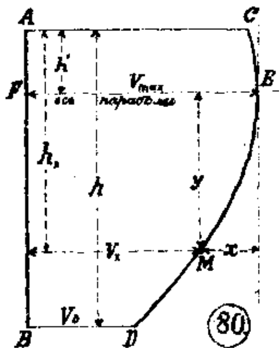

Уравненіе графика скоростей въ общемъ видѣ:

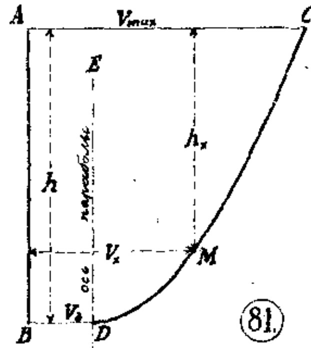
$$v = f(h) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (46)$$

Видъ функціи $f$ зависитъ отъ цѣлаго ряда факторовъ, какъ направленія и скорости вѣтра, характера стѣнокъ русла, продольнаго уклона, ледяного покрова, а также, вполнѣ возможно, - температуры

воды, ея состава (количества взвѣшенныхъ наносовъ) и давленія воздуха.

Первоначальныя предположенія (Кастелли, 1628 г.), что скорости измѣняются по прямой линіи, были опровергнуты послѣ изобрѣтенія трубокъ и вертушекъ. Изъ кривыхъ второго порядка ближе всего къ дѣйствительности оказалась парабола. Одни изслѣдователи, какъ Хамфрисъ и Эббетъ (Humphreys & Abbot), работавшіе въ 1851-58 гг. на Миссисипи двойными поплавками, находили, что ось параболы горизонтальна и совпадаетъ съ направленіемъ наибольшей скорости, имѣющей мѣсто на 0,297 глубины подъ поверхностью воды (черт.80).




Уравненіе такого графика скоростей:

$$y^2 = 2px \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (47)$$

$$(h_x - h')^2 = 2p\,(v_{max} - v_x),$$

$$v_x = v_{max} - \frac{1}{2p}\,(h_x - h')^2 \quad \ldots\ldots\ldots \quad (48)$$

гдѣ $v_x$ и $h_x$ - координаты произвольной точки на кривой М.

Хагенъ пришелъ къ выводу, что болѣе близкіе результаты даетъ парабола съ вертикальною осью (черт.81), вершина которой находится на днѣ потока; наибольшая скорость - на поверхности. Уравненіе имѣетъ видъ:

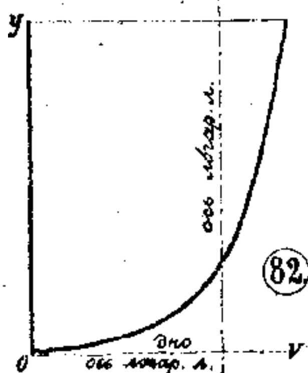
$$(v_x - v_0)^2 = 2p\,(h - h_x)$$

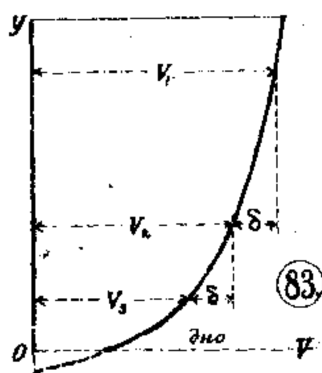
$$v_x = v_0 + \sqrt{2p\,(h - h_x)} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (49)$$

Ясмундъ, на основаніи многочисленныхъ измѣреній на Эльбѣ у Магдебурга въ 1880-1885 гг., предложилъ для графика скоростей логариѳмическую линію съ уравненіемъ вида:

$$v = a + b\lg y \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (50)$$

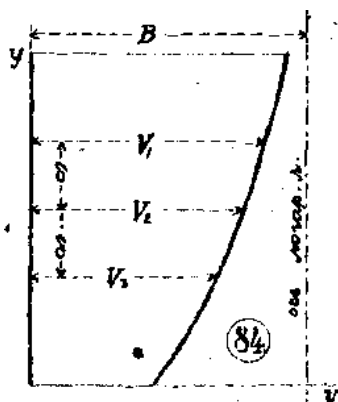
гдѣ y - разстояніе отъ дна (высота), исходя изъ того, что при возрастаніи величины x въ геометрической прогрессіи, скорость увеличивается въ прогрессіи ариеметической; a и b здѣсь постоянные для каждой кривой коэффиціенты, опредѣляемые по скоростямъ,

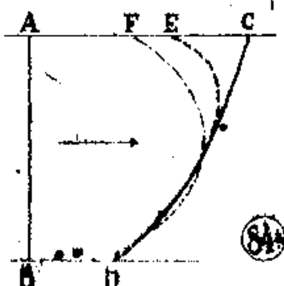



измѣреннымъ въ двухъ точкахъ на произвольныхъ глубинахъ. Недостатокъ этого уравненія, удобнаго для вычисленія, тотъ, что скорость равна нулю около дна, и даже нѣсколько выше дна, что въ дѣйствительности невѣрно: размываніе рѣкою своего ложа и перекатываніе по дну гальки и крупныхъ песчинокъ доказываетъ существованіе даже значительныхъ скоростей у дна. Теоретически лучшіе результаты даетъ другое уравненіе той же кривой, предложенное тоже Ясмундомъ:

$$v = a + b\lg(y + c) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (51)$$



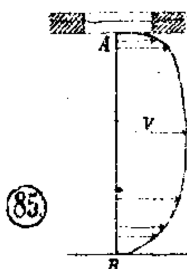




Эта логариемическая линія (черт.83) пересѣкаетъ горизонтальную ось и слѣд. допускаетъ существованіе донныхъ скоростей. Зато коэффиціенты a, b и c вычисляются съ большимъ трудомъ: для ихъ опредѣленія необходимо опредѣлять глубины такихъ трехъ точекъ, чтобы разности δ между величинами скоростей въ нихъ были равны (см. черт.83); практически нахожденіе этихъ точекъ очень затруднительно. Притомъ иногда кривая все равно пересѣкаетъ ось y выше дна.

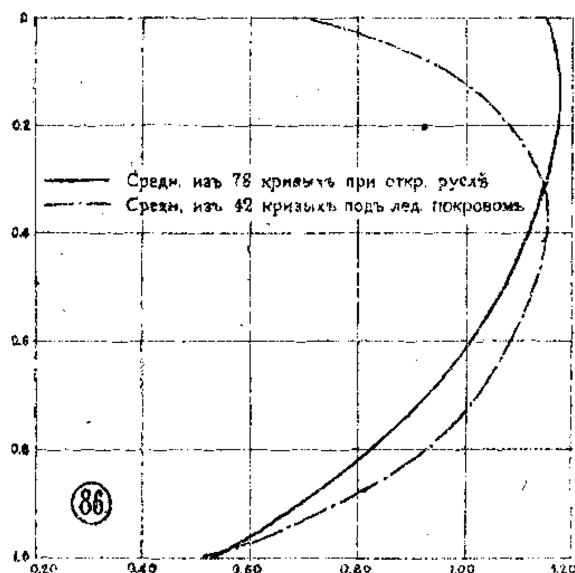
Инж. Моисеенко, на основаніи изслѣдованій на р. Чусовой (1911-12 гг.) примѣнилъ уравненіе логариемической кривой другого вида (черт.84):

$$h = a + b\,\lg\,(B - v)\; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (52)$$

гдѣ a, b и B - постоянные для данной кривой коэффиціенты, опредѣляемые по тремъ скоростямъ, измѣреннымъ въ трехъ равноотстоящихъ по высотѣ точкахъ. Коэффиціенты вычисляются легко и кривая даетъ результаты очень близкіе къ дѣйствительнымъ.




Видъ графика скоростей въ значительной мѣрѣ зависитъ отъ скорости и направленія вѣтра: при попутномъ вѣтрѣ онъ будетъ приближаться къ CD (черт. 84 a), при встрѣчномъ - къ ED. У береговъ, при сильномъ уклонѣ потока, графикъ будетъ имѣть видъ FD; наоборотъ, при маломъ уклонѣ - ближе къ CD. Слѣдовательно, въ зависимости отъ различныхъ условій, можетъ быть ближе къ истинѣ любое изъ указанныхъ уравненій графика скоростей.




Значительно отличается отъ указанныхъ графикъ скоростей для потока, покрытаго ледянымъ покровомъ. Убываніе скоростей въ этомъ случаѣ идетъ как ко дну, такъ и къ нижней поверхности льда (черт.85).

Изслѣдованія Ясмунда показали, что для нижней части такого графика скоростей примѣнимо уравненіе логариѳмической линіи:

$$v = a + b\lg y\; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (50)$$

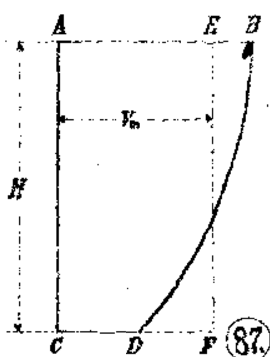
для верхней же части можетъ быть выбрана равносторонняя гипербола или логариѳмическая линія съ наклонными осями:

$$v = a + b\lg y - a_1 + b_1 y \quad . . . . . . . . . . . . . (53)$$

По многочисленнымъ изслѣдованiямъ надъ распредѣленiемъ скоростей по вертикали подо льдомъ, произведеннымъ въ С.Америкѣ, построены для сравненiя среднiе графики скоростей въ открытомъ руслѣ и покрытомъ льдомъ (черт.86): по вертикальной оси отложены глубины въ доляхъ всей глубины вертикали, по горизонтальной - скорости въ доляхъ средней скорости по вертикали.

## § 41. СРЕДНЯЯ СКОРОСТЬ ПО ВЕРТИКАЛИ.

Цѣлью изслѣдованiя графиковъ скоростей является возможное упрощенiе работы по измѣренiю скоростей, такъ чтобы по 1,2 или 3 измѣренiямъ можно было достаточно точно опредѣлять среднюю скорость по вертикали. Эта средняя скорость представляетъ изъ себя среднюю ариеметическую скоростей во всѣхъ точкахъ вертикали; она равна основанiю прямоугольника AEFC (черт.87), площадь котораго равна площади ABDC, ограниченной вертикалью AC, графикомъ скоростей этой вертикали BD, поверхностью воды AB и дномъ рѣки CD, а высота равна глубинѣ вертикали H.




пл. ABFC = пл. ABDC,

$$v_m . H = \omega \quad . . . . . . . . . . . . . (54)$$

гдѣ $\omega$ есть площадь фигуры ABDC, называемая иногда площадью скоростей по вертикали; величина ея можетъ быть опредѣлена, если извѣстно уравненiе графика скоростей:

$$v = f(h) \quad , . . . . . . . . . . . . . (46)$$

или $v = f(y)$, если считать не глубины точекъ, а высоты (отъ дна) . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . (55)

$$\omega = \int_0^h f(h).dh = \int_0^h v.dh \text{ или } \omega = \int_0^y v.dy \quad . . . . . (56)$$

$$v_m = \frac{1}{H}\int_0^h v dh = \frac{1}{H}\int_0^y v dy \quad . . . . . . . . . . . . . (57)$$

Такъ, Ясмундъ опредѣляетъ среднюю скорость по уравненію:

$$v = a + b\lg y \qquad (50)$$

$$y = e^{\frac{v-a}{b}}$$, (e - основаніе натуральныхъ логариемовъ) . . . . . . . . . . (58)

$$\omega = v_n H - \int_0^y e^{\frac{v-a}{b}} . dy = v_n H - b \left(e^{\frac{v_n - a}{b}} - e^{-\frac{a}{b}}\right), \qquad (59)$$

гдѣ $v_n$ - поверхностная скорость;
изъ (58) имѣемъ:

$$\text{при } v = v_o : \quad y = H = e^{\frac{v_n - a}{b}}, \qquad (60)$$

$$\text{при } v = 0 \text{ (у дна)}, \; y = 0 = e^{-\frac{a}{b}}; \qquad (61)$$

Отсюда:

$$\omega = v_n H - bH,$$

$$v_m = \frac{\omega}{H} = v_n - b \qquad (62)$$

или, т.к. $v_n = a + b\lg H$ :

$$v_m = a + b(\lg H - 1) = a + b\lg\frac{H}{e}, \qquad (63)$$

слѣдовательно, высота той точки на вертикали, скорость въ которой равна средней скорости по вертикали $v_m$ должна быть:

$$y' = \frac{H}{e} = 0{,}368\ H.$$

или глубина (отъ поверхности):

$$h' = 0{,}632\ H \qquad (64)$$

Другіе изслѣдователи принимаютъ:

$$h' = 0{,}6\ H; \qquad (65)$$

это значеніе для глубины, на которой скорость равна средней скорости по вертикали, слѣдуетъ, на основаніи многочисленныхъ наблюденій, считать наиболѣе близкимъ къ дѣйствительности. Американскіе инженеры Хойтъ и Грауэръ (Hoyt & Grover) подтвердили это изслѣдованіемъ 1605 графиковъ скоростей.

для практики этотъ выводъ является очень цѣннымъ: для опредѣленія средней скорости по вертикали можно измѣрять скорость въ одной лишь точкѣ, лежащей на 0,6 глубины вертикали:

$$v_m = v_{0.6H} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (66)$$

На основаніи подобныхъ выводовъ и наблюденій широко примѣняется формула

$$v_m = \frac{v_{0.2H} + v_{0.8H}}{2}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (67)$$

въ которой средняя скорость опредѣляется по двумъ скоростямъ, измѣреннымъ на 0,2 и 0,8 глубины вертикали. Эта формула особенно цѣнна въ томъ отношеніи, что она пригодна и для измѣреній подо льдомъ, какъ это доказали на американскихъ рѣкахъ Барроусъ Хортонъ и на русскихъ - инж. Моисеенко, формула же (66), такъ же какъ и слѣдующія (68,69 и 73), пригодны лишь при открытомъ руслѣ. Правильность формулы (67) для открытыхъ руселъ подтверждена, кромѣ указанныхъ выше работъ Хойта и Граузра, изслѣдованіями инж. Моисеенко на основаніи 500 графиковъ скоростей изъ работъ на русскихъ рѣкахъ.

Очевидно, что среднее ариѳметическое изъ формулъ (66) и (67):

$$v_m = \frac{v_{0.2H} + 2\ v_{0.6H} + v_{0.8H}}{4} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (68)$$

должно дать лучшіе результаты, какъ основанное на 3 измѣреніяхъ скоростей.

Значительно болѣе грубые результаты даетъ формула:

$$v_m = \frac{v_n + 3\ v_{2/3H}}{4} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (69)$$

опредѣляющая среднюю скорость по поверхностной $v_n$ и скорости на $^2/_3$ глубины вертикали, хотя ее рекомендуютъ многіе авторы, какъ требующую наибольшаго погруженія вертушки лишь на $^2/_3$ глубины.

Значительный интересъ представляетъ формула для опредѣленія средней скорости по вертикали по одной лишь поверхностной скорости $v_n$:

$$v_m = k \cdot v_n \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (70)$$

гдѣ k - переходный коэффиціентъ, на величину котораго оказываютъ вліяніе скорость и направленіе вѣтра, глубина вертикали, уклонъ

потокъ и другія мѣстныя условія. По вычисленіямъ Хойта и Грауэра, значенія к колеблются въ предѣлахъ отъ 0,78 до 0,98 и въ среднемъ к близко къ 0,84 - 0.87. Другіе изслѣдователи даютъ подобныя среднія значенія: по Вагнеру к = 0,888, по Хагену к = $\frac{6}{7}$ = 0,86. Здѣсь слѣдуетъ обратить вниманіе на то, что многіе авторы предлагаютъ для опредѣленія к эмпирическую формулу Прони:

$$к = \frac{v_{max} + 2,354}{v_{max} + 3,129} \text{ (для метрич.мѣръ)} \quad . \ . \ . \quad (71)$$

или для саженныхъ мѣръ

$$к = \frac{v_{max} + 1,10}{v_{max} + 1,47} \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \quad (72)$$

однако эта формула выражаетъ зависимость между наибольшей скоростью на поверхности $v_{max}$ и среднею скоростью для всего живого сѣченія (см. § 57).

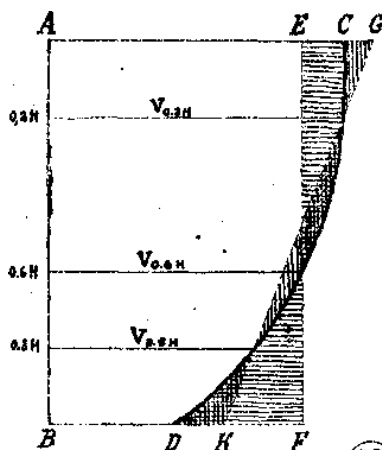
Въ среднемъ часто принимается к = 0.85:

$$v_m = 0,85\ v_n \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \quad (73)$$

Подъ ледянымъ покровомъ примѣняется иногда формула:

$$v_m = 0,85\ v_{0.5H} \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \quad (74)$$

Въ геометрическомъ отношеніи приведенныя формулы имѣютъ слѣдующее значеніе:




Въ формулѣ (66) площадь скоростей по вертикали (черт.88) ACDB замѣняется прямоугольникомъ AEFB съ равною площадью:

$$v_m = \frac{\omega}{H}; \quad v_m H = \omega = v_{0.6H} H \quad . \ . \quad (75)$$

Въ формулѣ (67) эта же площадь замѣняется равновеликою трапеціей AGKB:

$$\omega = \frac{v_{0.2H} + v_{0.8H}}{2} \cdot H \quad . \ . \ . \ . \quad (76)$$

Формула (68) представляетъ среднее ариеметическое площади прямоугольника AEFB и трапеціи AGKB

## § 42. РАСПРЕДѢЛЕНІЕ СКОРОСТЕЙ ПО ГОРИЗОНТАЛИ.

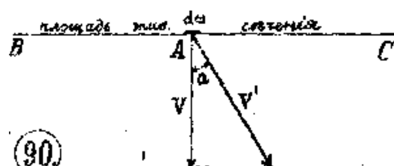
Аналогично графикамъ скоростей, распредѣленіе скоростей каждой отдѣльной глубинѣ по всей ширинѣ живого сѣченія графически представляется въ видѣ т.наз. эпюръ скоростей. Для этого разстоянія отъ одного берега откладываются по горизонтальной оси (черт.89), а скорости въ соотвѣтствующихъ точкахъ проводятся въ видѣ отрѣзковъ вверхъ (иногда внизъ) отъ горизонтальной оси. Концы отрѣзковъ соединяются плавною кривою CD, которая продолжается до точекъ A и B, лежащихъ у береговъ рѣки. Кривая ACDB и будетъ эпюрою скоростей. Такія эпюры могутъ быть построены для различныхъ глубинъ, однако практическое примѣненіе находитъ только эпюра поверхностныхъ скоростей, которая нерѣдко строится по скоростямъ, измѣреннымъ поверхностными поплавками, и служитъ для болѣе точнаго проведенія изотахъ вблизи поверхности воды. Въ общемъ, эпюры скоростей представляютъ изъ себя параболическія кривыя, очертанія которыхъ нѣсколько подобны профилю дна рѣки.




## § 43. НАПРАВЛЕНІЕ СКОРОСТЕЙ.

Кромѣ измѣренія величины скоростей, нерѣдко въ задачу гидрометріи входитъ опредѣленіе ихъ направленія, т.к. доказано, что гипотеза о параллельности струй, на которой основаны выводы гидравлики, для рѣчныхъ руселъ непримѣнима. Работы инженера Н.С.Лелявскаго на р. Днѣпрѣ и Деснѣ (1893 и 1894 г.) показали, что во всѣхъ точкахъ живого сѣченія струи сходятся или расходятся какъ въ горизонтальномъ, такъ и въ вертикальномъ направленіи. Это обстоятельство играетъ большую роль при проектированіи направительныхъ сооруженій на рѣкахъ, а также и мостовыхъ устоевъ. Изученіе направленія рѣчныхъ струй даетъ основанія, необходимыя для ученія о формированіи рѣкою своего русла; кро-

мѣ того, оно имѣетъ непосредственное приложеніе и при исполненіи ближайшей задачи гидрометріи - опредѣленія расхода воды. Дѣло въ томъ, что элементарный расходъ q черезъ площадку dω, прилегающую къ точкѣ A живого сѣченія, какъ объемъ призмы съ основаніемъ dω и высотою v будетъ только тогда опредѣляться, какъ



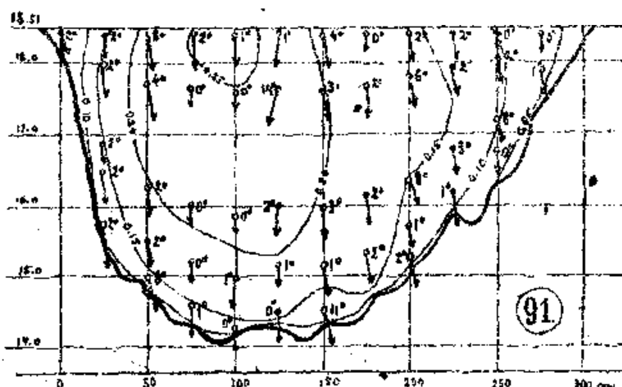

$$q = v.d\omega, \ldots \ldots \ldots (77)$$

когда будетъ измѣрена величина v, т.е. проекція дѣйствительной скорости v' на направленіе, перпендикулярное къ плоскости живого сѣченія BC. Между тѣмъ есть рядъ гидрометрическихъ приборовъ, особенно примѣняемыхъ на большихъ глубинахъ, которые автоматически устанавливаются по направленію дѣйствительной скорости v' и ея величину измѣряютъ. Такъ какъ истинный элемент. расходъ $q = v.d\omega$, вообще говоря, меньше фиктивнаго $q' = v'd\omega$, то при измѣреніи скоростей такими приборами расходъ рѣки получается преувеличенный (3-6% по волжскимъ измѣреніямъ). Для уменьшенія происходящей отъ непараллельности струй ошибки слѣдуетъ или примѣнять такіе приборы, которые измѣряютъ непосредственно величину проекціи скорости v, или выбирать для производства измѣреній участки рѣки съ наиболѣе правильнымъ русломъ, гдѣ возможно допустить, что направленіе скоростей близко къ параллельному берегамъ и между собою. Но, не смотря на послѣднюю мѣру, для достиженія достаточной точности необходимо измѣрять направленія скоростей въ различныхъ точкахъ живого сѣченія, чтобы внести необходимыя поправки:

$$v = v'.\cos\alpha \ldots \ldots \ldots (78)$$

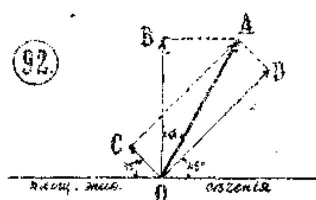
Для измѣренія уклоненія рѣчныхъ струй отъ направленія перпендикулярнаго къ плоскости живого сѣченія примѣняются особые приборы, сравнительно очень сложнаго устройства, заключающагося въ томъ или другомъ закрѣпленіи положенія оси „флюгера" или вертушки относительно другихъ частей прибора, или же магнитной стрѣлки,- послѣ того, какъ приборъ установленъ въ изслѣдуемой точкѣ. Приборъ можетъ давать, въ зависимости отъ конструкціи, или одно измѣреніе направленія въ моментъ закрѣпленія, или же указывать непрерывно положеніе оси (американскій типъ). Одни изъ

приборовъ, напр. подводные флюгеры Лелявскаго, могутъ примѣняться для измѣренія угловъ отклоненія струи какъ въ горизонтальной плоскости, такъ и въ вертикальной, другіе, напр. вертушка Экмана (примѣняемая также для измѣренія направленія и скорости морскихъ теченій), указываютъ только уклоненія въ горизонтальной плоскости, которыя вообще значительно превышаютъ вертикальныя отклоненія. Въ настоящее время можно ограничиться послѣднимъ типомъ приборовъ, т.к. если большинство вертушекъ, которыя примѣняются на большихъ глубинахъ, имѣютъ свободное вращеніе, то только въ горизонтальной плоскости. Въ видѣ примѣра на черт.91 приведены результаты измѣренія угловъ отклоненія направленія скоростей отъ нормальнаго къ живому сѣченію въ горизонтальной плоскости на Вязовской гидрометр.станціи на р.Волгѣ. Углы указаны въ градусахъ, стрѣлки показываютъ направленіе вправо или влѣво. Точность опредѣленія угловъ у большинства приборовъ - 10 - 12°, у новаго (американскаго) типа - 2°, Лелявскій своимъ флюгеромъ измѣрялъ углы болѣе точно, однако этотъ приборъ не получилъ распространенія, вслѣдствіе громоздкости необходимыхъ для работы приспособленій.

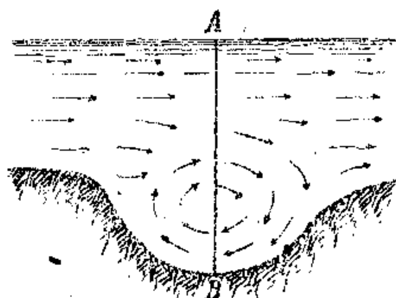


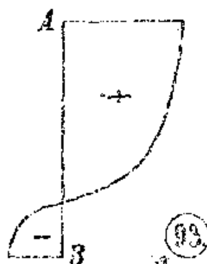

При отсутствіи спеціальнаго прибора измѣреніе направленія скорости можетъ быть сдѣлано обыкновенною вертушкою, закрѣпляемою на штангѣ. Такою вертушкою измѣряютъ 3 раза скорость въ одной и той же точкѣ: при положеніи перпендикулярномъ къ плоскости живого сѣченія и подъ угломъ въ 45° вправо и влѣво отъ этого положенія. Если дѣйствительная скорость въ точкѣ О (точнѣе проекція дѣйствительной скорости на горизонтальную плоскость) есть ОА = v' (черт.92), то измѣренія въ трехъ положеніяхъ да-

дутъ величины трехъ проекцій OB, OD и OC, по которымъ графическимъ путемъ легко опредѣлить направленіе OA и уголъ α.




Точно также можно получить представленіе о направленіи струй въ потокѣ, если поочередно измѣрить скорости въ нѣсколькихъ смежныхъ поперечныхъ сѣченіяхъ и распредѣленіе скоростей изобразить изотахами.




Работы Делявскаго, а также инж. Коровина на Волгѣ показали, что въ отдѣльныхъ точкахъ отклоненія могутъ достигать 60-80°, особенно у береговъ. Могутъ быть отдѣльные случаи, когда скорость получаетъ даже обратное направленіе, напр. въ водоворотахъ (черт.93). Графикъ скоростей въ этомъ случаѣ будетъ располагаться по обѣ стороны отъ вертикали AB; если вертушка не имѣетъ приспособленія для предупрежденія наблюдателя объ обратномъ вращеніи лопастей (см. § 18), то скорость обратная будетъ учтена, какъ положительная, отчего будетъ допущена большая неточность.

## § 44. ПУЛЬСАЦІЯ.

Какъ показали наблюденія, величина и направленіе скорости въ каждой отдѣльной точкѣ живого сѣченія, не остаются постоянными, а подвержены непрерывнымъ колебаніямъ, которыя объясняются существующимъ въ рѣкахъ вихревымъ или безпорядочнымъ движеніемъ воды. Колебанія эти носятъ названіе пульсаціи. Существованіемъ пульсаціи объясняется то, что такіе приборы, какъ трубки, которыя измѣряютъ мгновенную скорость въ моментъ закрыванія крана, считаются неудовлетворительными; наоборотъ, вертушки, особенно съ непрерывной сигнализаціей или автоматической регистраціей оборотовъ лопастей, считаются самыми точными приборами, потому что ими возможно измѣрять скорость въ теченіе произвольно про-

должительнаго времени. Вліяніе пульсаціи въ последнемъ случаѣ исключается опредѣленіемъ средней скорости за время установки прибора, а для установленія необходимой продолжительности наблюденія производятся спеціальныя изслѣдованія надъ пульсаціей. Такія изслѣдованія предпринимались Центральнымъ Гидротехническимъ Бюро въ Вѣнѣ (инж. Лауда), а также русскими инженерами при работахъ на сибирскихъ рѣкахъ (Соколовъ, Мусселіусъ, Моисеенко) и на Вязовской Гидрометр. Станціи на Волгѣ (В.Я.Жуковскій); въ общихъ чертахъ, выводы получились слѣдующіе:

1) величина пульсаціи въ одномъ и томъ же живомъ сѣченіи обратно пропорціональна скорости; наименьшее значеніе пульсація имѣетъ вблизи поверхности воды около стрежня *) потока; она постепенно увеличивается по направленію къ дну и берегамъ, на чемъ, повидимому, сказывается сопротивленіе стѣнокъ русла, (ср. черт. 94. — колебанія величины скорости по времени вблизи дна (а) и вблизи поверхности воды (b) - по наблюденіямъ инж. Жуковскаго);

2) подъ ледянымъ покровомъ величина пульсаціи въ нѣсколько разъ меньше, чѣмъ въ открытомъ руслѣ; зависимость ея отъ близости къ дну и къ ледяной корѣ неясна;

3) періодичность колебаній не установлена; получается впечатлѣніе полнаго безпорядка въ движеніи отдѣльныхъ струекъ **);

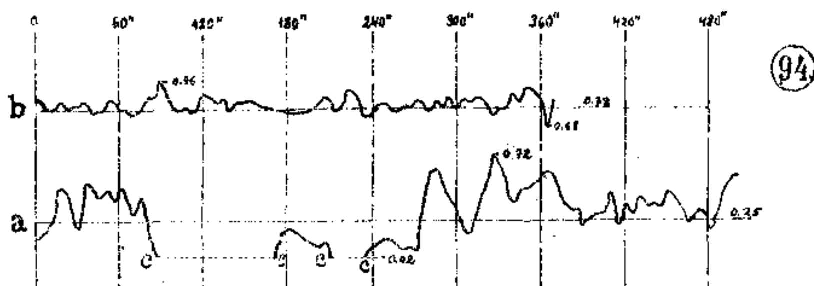
4) относительная величина колебанія скоростей около поверхности равна примѣрно 4 - 6% значенія скорости, около дна же колебанія иногда достигаютъ 100%; нерѣдки моменты, когда движеніе пріостанавливается или даже скорость получаетъ обратное направленіе (точки сс на черт. 94 - а).

Если при гидрометрическихъ изслѣдованіяхъ не считаться съ вліяніемъ пульсаціи, то измѣренныя случайныя скорости распредѣ-

---

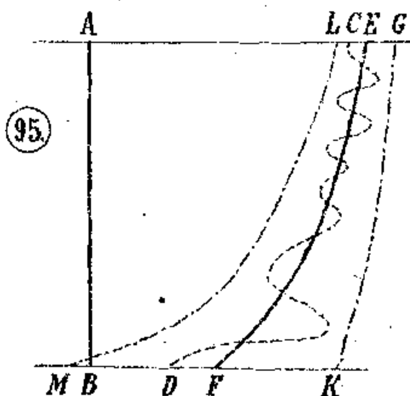
*) *Стрежень - динамическая ось потока - линія, соединяющая по ряду живыхъ сѣченій точки, въ которыхъ имѣетъ мѣсто наибольшая въ каждомъ сѣченіи скорость.*

**) *В.Я. Жуковскій. О методахъ измѣренія скоростей и расходовъ воды въ большихъ открытыхъ руслахъ.*




лятся на графикѣ очень неправильно, напримѣръ, по кривой CD (95), въ то время какъ при наблюденіяхъ соотвѣтствующей продолжительности графикъ среднихъ величинъ скоростей по вертикали получитъ очертанія EF; кривыя GK и LM указываютъ предѣлы колебаній скоростей.

Методы опредѣленія необходимой продолжительности наблюденія, имѣющей цѣлью устранить вліяніе пульсаціи, изложены въ главѣ о измѣреніи скоростей вертушкой.




Кромѣ колебаній величины скорости, пульсація сказывается на колебаніяхъ ея направленія, которыя несомнѣнно существуютъ и вліяютъ на результаты измѣреній; однако онѣ еще очень мало изучены.

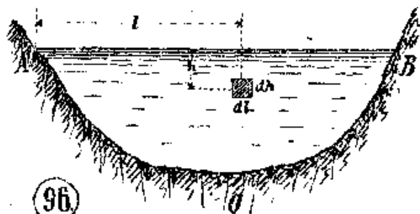
Въ дальнѣйшемъ, также, какъ и въ предыдущихъ §§ 39 – 42, дѣйствительная измѣренная скорость въ данной точкѣ будетъ считаться, какъ средняя за нѣкоторый промежутокъ времени, въ который производилось наблюденіе однимъ изъ гидрометрическихъ приборовъ.



# ГЛАВА IV. МЕТОДЫ ВЫЧИСЛЕНІЯ РАСХОДА ПО ИЗМѢРЕННЫМЪ СКОРОСТЯМЪ.

## § 45. РАСХОДЪ. МОДЕЛЬ РАСХОДА.

Расходомъ потока мы называемъ то количество воды, которое протекаетъ въ единицу времени (1секунду) черезъ заданное поперечное сѣченіе этого потока. Расходъ рѣкъ принято выражать куб.саженями или куб.метрами въ 1 секунду. Расходъ $q$ черезъ б.малую площадку живого сѣченія АОВ $d\omega = dh.dl$, находящуюся на глубинѣ $h$ и нѣ разстояніи $l$ отъ берега равенъ объему призмы съ площадью сѣченія $d\omega$ и высотою - средней скоростью - $v$, причемъ согласно (78) $v = v'.\cos\alpha$, гдѣ $\alpha$ - уголъ отклоненія направленія дѣйствительной скорости $v'$ отъ перпендикулярнаго къ $d\omega$ положенія:




$$q = d\omega \,.\, v'\cos\alpha \;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;. \quad (79)$$

причемъ

$$v' = f(h, l) \;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;. \quad (80)$$

Расходъ $Q$ черезъ всю площадь живого сѣченія $AOB = \Omega$ получится, какъ сумма всѣхъ элементарныхъ расходовъ $q$, или въ предѣлѣ:

$$Q = \int v'\cos\alpha\, d\omega = \int_0^l\int_0^h v'\cos\alpha\, dh.dl \;,\;.\;.\;. \quad (81)$$

иначе:

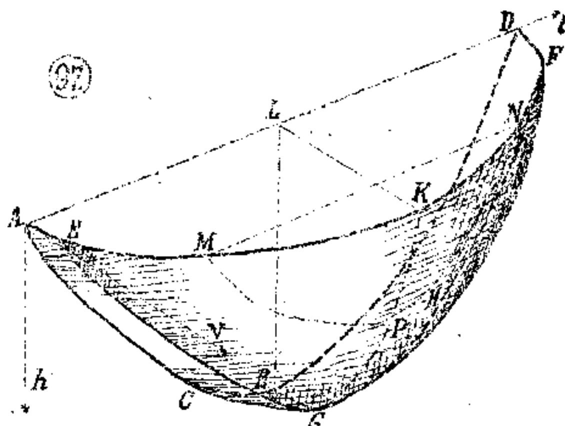
$$Q = \int_0^l\int_0^h v\,.\,dh.dl \;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;. \quad (82)$$

Геометрически этотъ двойной интегралъ выражаетъ объемъ водяного тѣла, заключеннаго между площадью живого сѣченія и криволинейною поверхностью $v = f(h, l)$.

Если мы мысленно выдѣлимъ изъ потока такое водяное тѣло *),

---

*) *Для этого надо вообразить, что поперекъ потока по площади живого сѣченія мгновенно вдвигается идеально тонкая и гибкая пленка; по истеченіи секунды русло преграждается другою такою же пленкою; вода, заключенная между пленками, и будетъ представлять изъ себя секундный расходъ (по лекціямъ проф. Глушкова).*




то оно будетъ ограничено:

1) плоскостью живого сѣченія ACBD (черт.97);

2) горизонтальною поверхностью воды въ рѣкѣ ADFKE;

3) криволинейною поверхностью прямого цилиндра AEGHFDBC - русломъ рѣки;

4) криволинейною поверхностью EKFG, каждая изъ точекъ которой находится на разстояніи отъ плоскости ACBD, равномъ скорости $v = v' \cos \alpha$ въ этой точкѣ. Если въ каждой точкѣ живого сѣченія построить соотвѣтствующія v въ видѣ прямыхъ отрѣзковъ, то концы этихъ отрѣзковъ образуютъ поверхность EKFG.

Это водяное тѣло носитъ названіе модели расхода.

## § 46. ЭЛЕМЕНТЫ МОДЕЛИ РАСХОДА.

Въ пересѣченіи модели расхода вертикальною плоскостью, перпендикулярною къ плоскости живого сѣченія, получается площадь скоростей по вертикали (ср.§ 40 и 41) LKGB, причемъ кривая KG есть графикъ распредѣленія скоростей по вертикали LB:

$$v = f(h) \quad . . . . . . . . . . . . . . . \quad (46)$$

Если модель расхода пересѣчь также вертикальною плоскостью, но параллельною плоскости живого сѣченія, то фигура MNP будетъ изотахою (ср. § 39), аналогично съ горизонталью поверхности земли. Изотахи, изображающія распредѣленіе скоростей по площади живого сѣченія, представляютъ изъ себя кривыя, полученныя пересѣченіемъ модели расхода рядомъ равноотстоящихъ плоскостей, параллельныхъ этой площади; кривыя проектируются на плоскость

живого сѣченія (ср. черт.78). Если разстоянія между изотахами (разности скоростей) есть с, то уравненіе n-ой изотахи будетъ:

$$v = nc \quad (83)$$

Пересѣченіе модели расхода горизонтальною плоскостью дастъ эпюру распредѣленія скоростей на данной глубинѣ (ср. § 41). Въ частности кривая EKF, ограничивающая площадь ADFKE, есть эпюра поверхностныхъ скоростей. Уравненіе эпюры на глубинѣ h = k:

$$v = f(l,k) \quad (84)$$

Кривая EGF, будучи развернута на плоскость, представитъ изъ себя эпюру донныхъ скоростей.

## § 47. ПОДРАЗДѢЛЕНІЕ МЕТОДОВЪ ОПРЕДѢЛЕНІЯ ОБЪЕМА МОДЕЛИ РАСХОДА.

Вслѣдствіе неизвѣстности зависимости $v = f(h,l)$, мы не въ состояніи опредѣлить величину расхода по формулѣ:

$$Q = \int_0^l \int_0^h v\,dh\,hl \quad (82)$$

Если бы скорости были измѣрены въ большомъ числѣ точекъ живого сѣченія, можно было бы изготовить модель расхода изъ какого-либо матеріала и измѣрить ея объемъ однимъ изъ примѣняемыхъ при физическихъ измѣреніяхъ способовъ. Въ дѣйствительности скорости измѣряются только въ нѣкоторыхъ точкахъ или по отдѣльнымъ линіямъ и для опредѣленія приближенной величины расхода модель расхода дѣлится параллельными плоскостями на рядъ болѣе простыхъ тѣлъ; объемъ каждаго изъ нихъ опредѣляютъ по приближенной формулѣ:

$$q = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \cdot a \quad (85)$$

гдѣ $\omega_1$ и $\omega_2$ - двѣ сосѣднія параллельныя площади, a - разстояніе между ними.

Въ соотвѣтствіи съ тремя направленіями сѣченій, могутъ быть предложены 3 основныхъ метода вычисленія расхода:

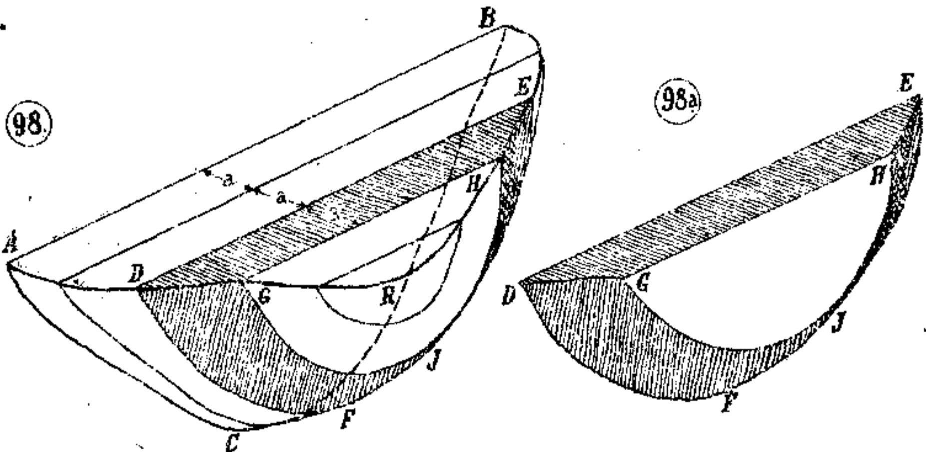
1) по изотахамъ.

2) по графикамъ скоростей (по вертикали),

3) по эпюрамъ скоростей (по горизонтали).

Изъ этихъ методовъ наиболѣе сложный первый, носящій названіе способа Кульмана; третій методъ почти не примѣняется; болѣе всего разработанъ второй методъ, который даетъ рядъ рѣшеній: особенно часто примѣняется графическій пріемъ рѣшенія, предложенный проф. Гарлахеромъ.

## § 48. Первый методъ (Кульмана).




Вычисленіе расхода, какъ объема модели расхода, по способу Кульмана заключается въ послѣдовательномъ опредѣленіи объема пластинокъ, получаемыхъ при разсѣченіи модели расхода вертикальными плоскостями, параллельными площади живого сѣченія, какъ напр. пластинки DEFGHJ (черт. 98 а). Для вычисленія объема q этой пластинки необходимо опредѣлить площади DEF = $p_n$ и GHJ = $p_{n+1}$, которыя являются основаніями, высота же a (толщина пластинки) — есть разстояніе, черезъ которое произведены сѣченія, т.е. постоянное — разность скоростей, соотвѣтствующихъ двумъ сосѣднимъ изотахамъ.

По формулѣ объема усѣченной пирамиды:

$$q = \frac{1}{3} \left( p_n + p_{n+1} + \sqrt{p_n \cdot p_{n+1}} \right) . a \quad \ldots\ldots \quad (86)$$

или проще — объема призмы съ площадью сѣченія равной средней изъ площадей $p_n$ и $p_{n+1}$ (или объема усѣченнаго параболоида):

$$q = \frac{1}{2}(p_n + p_{n+1}) . a \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (87)$$

Объемъ всей модели расхода:

$$Q = \Sigma q + b = a\left(\frac{p_0 + p_1}{2} + \frac{p_1 + p_2}{2} + \frac{p_2 + p_3}{2} + \ldots + \frac{p_{k-1} + p_k}{2}\right) + b =$$

$$= a.\left(\frac{p_0 + p_k}{2} + p_1 + p_2 + p_3 + \ldots\ldots + p_{k-1}\right) + b ,$$

гдѣ $b$ — объемъ послѣдней пластинки R (концевого отсѣка), толщина которой $a' = v_{max} - v_k$, причемъ $a' < a$, а площадь основанія $= p_k$.

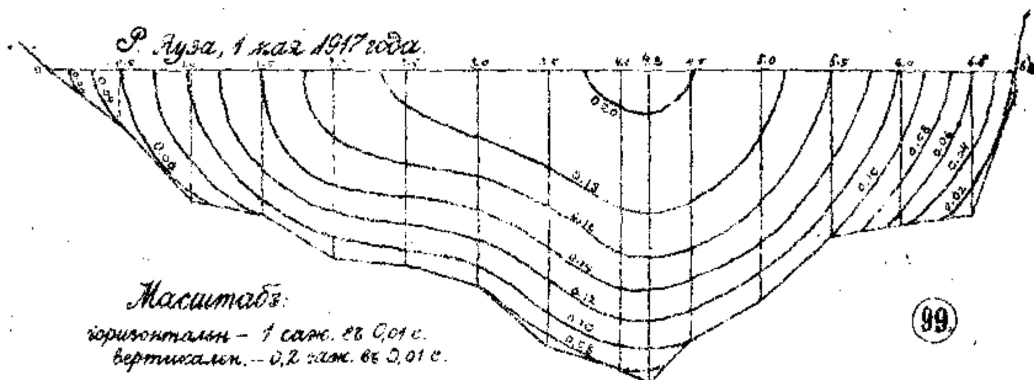
Въ виду незначительности $b$ по сравненію съ величиной $\Sigma q$, объемъ этотъ можетъ быть вычисленъ, какъ:

$$b = \frac{1}{2} \cdot p_k . a' ,$$

т.е. по формулѣ объема параболоида, и тогда

$$Q = a.\left(\frac{p_0 + p_k}{2} + p_1 + p_2 + p_3 + \ldots\ldots + p_{k-1}\right) + \frac{1}{2} \cdot p_k a' \quad \ldots (88)$$

Площади $p_0$, $p_1$, $p_2$ ...... измѣряются планиметромъ по профилю живого сѣченія съ проведенными на немъ изотахами (черт. 99),




причемъ $p_0$ есть величина площади живого сѣченія, $p_1$ — площадь, ограниченная первою по порядку изотахою, $p_2$ — второю и т.д., $p_k$ — послѣднею изотахою. При пользованіи планиметромъ необходимо принимать въ расчетъ то, что обычно профиль живого сѣченія вычерчивается въ различныхъ масштабахъ: горизонтальный

масштабъ берется гораздо мельче вертикальнаго, чтобы яснѣе представить очертанія профиля дна и изотахъ.

Такъ, если горизонт. масштабъ данъ 1 саж. въ 0.01 с. $\left(\frac{1}{100}\right)$, а вертикальный 0,2 саж. въ 0.01 $\left(\frac{1}{20}\right)$, и если цѣна 1 дѣленія планиметра есть c для масштаба 100 саж. въ дюймѣ $\left(\frac{1}{8400}\right)$, то для данныхъ условій цѣна 1 дѣленія будетъ:

$$c' = c \cdot \frac{100.20}{8400^2}$$

и вообще:

$$c' = c \cdot \frac{M_г \cdot M_в}{M^2} \quad \text{. . . . . . . . . . . . .} \quad (89)$$

гдѣ $M_г$ и $M_в$ — знаменатели численныхъ масштабовъ горизонтальнаго и вертикальнаго, M — знаменатель того масштаба, для котораго дана цѣна дѣленія планиметра c.

Рекомендуется, во избѣжаніе ошибки, построить прямоугольникъ, вычислить его площадь A при данныхъ масштабахъ, и кромѣ того обвести планиметромъ (нѣсколько разъ); тогда:

$$c' = \frac{A}{a}, \text{ гдѣ } a \text{ — среднее изъ отсчетовъ планиметра . . .} \quad (90)$$

Такъ, для примѣра (черт.99), при c = 0,06 дес. = 144 кв.с.

$$c' = 0{,}00408 \text{ кв. с.}$$

Примѣръ вычисленія расхода по способу Кульмана (по черт.99):

| Изотахи (саж.) | Отсчеты планиметра | Площади изотахъ p (кв. саж.) | $\frac{p_n + p_{n+1}}{2}$ | |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 425 | 1,73 | | c' = 0,00408 кв.с. |
| 0,02 | 422 | 1,72 | 1,72 | a = 0,02 с. |
| 0,04 | 416 | 1,69 | 1,70 | Q = 11,99.0,02 + b |
| 0,06 | 400 | 1,63 | 1,66 | b = ½·0,04.a' |
| 0,08 | 379 | 1,59 | 1,61 | a' = 0,003 |
| 0,10 | 339 | 1,38 | 1,49 | b = 0,00096 = 0 |
| 0,12 | 281 | 1,15 | 1,27 | Q = 0,240 куб.саж. |
| 0,14 | 223 | 0,91 | 1,03 | |
| 0,16 | 161 | 0,66 | 0,78 | |
| 0,18 | 93 | 0,38 | 0,52 | |
| 0,20 | 9 | 0,04 | 0,21 | |
| | | Σ | = 11,99 | |

Для упрощенія вычисленій можно вмѣсто площадей ввести отсчеты по планиметру m:

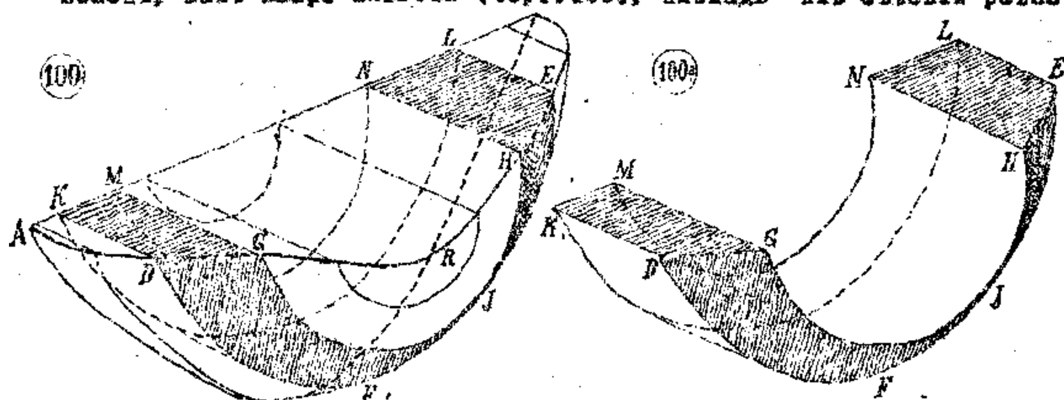
$$p = c'.m\ ,$$

$$q = \tfrac{1}{2}\,(c'm_n + c'm_{n+1}).a = \tfrac{1}{2}\,c'.(m_n + m_{n+1})\,a\ ,$$

$$Q = c'\left[\left(\frac{m_0 + m_k}{2} + m_1 + m_2 + \ldots + m_{k-1}\right).a + \tfrac{1}{2}\,m_k a'\right] \ . \ . \ . (91)$$

## § 49. ВИДОИЗМѢНЕННЫЙ МЕТОДЪ КУЛЬМАНА.

Видоизмѣненіемъ описаннаго способа является вычисленіе расхода по площадямъ между изотахами (а не площадямъ изотахъ), что геометрически равносильно опредѣленію объемовъ не пластинокъ, а колецъ, какъ напр. KMDFJEN (черт.100); площадь ихъ сѣченія равна




разности площадей соотв. изотахъ, средняя высота – полусумма скоростей, соотв. этимъ изотахамъ; объемъ кольца:

$$q = (p_n - p_{n+1}).\frac{v_n + v_{n+1}}{2}\ , \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . (92)$$

или

$$q = (p_n - p_{n+1}).\left(na - \frac{a}{2}\right)\ ; \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . (93)$$

$$Q = (p_0 - p_1)\frac{a}{2} + (p_1 - p_2)\frac{3}{2}a + (p_2 - p_3)\frac{5}{2}a + \ldots + (p_{k-1} - p_k)\left(ka - \frac{a}{2}\right) +$$

$$+ p_k.\left(ka + \frac{a' - a}{2}\right) \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . (94)$$

Такимъ путемъ, между прочимъ, вычислялся расходъ на волжскихъ гидрометрическихъ станціяхъ. Результатъ долженъ получиться тотъ же, что и по формулѣ (88), разница лишь въ порядкѣ вычисленій.

Ниже повторенъ приведенный выше примѣръ, разработанный по (94), причемъ площади между изотахами опредѣлены, какъ разности площадей соотв. изотахъ.

| Изотахи | Площади изотахъ | Площади между изотахами | Средняя скорость | Частичный расходъ |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 1,73 | 0.01 | 0.01 | 0.000 |
| 0.02 | 1,72 | 0.03 | 0.03 | 0.001 |
| 0.04 | 1,69 | 0.06 | 0.05 | 0.003 |
| 0.06 | 1,63 | 0.04 | 0.07 | 0.003 |
| 0.08 | 1.59 | 0.21 | 0.09 | 0.019 |
| 0.10 | 1.38 | 0.23 | 0.11 | 0.025 |
| 0.12 | 1.15 | 0.24 | 0.13 | 0.031 |
| 0.14 | 0.91 | 0.25 | 0.15 | 0.038 |
| 0.16 | 0.66 | 0.29 | 0.17 | 0.048 |
| 0.18 | 0.38 | 0.34 | 0.19 | 0.065 |
| 0.20 | 0.04 | 0.04 | 0.202 | 0.008 |
| | | | Q = | 0.241 |

к.с.

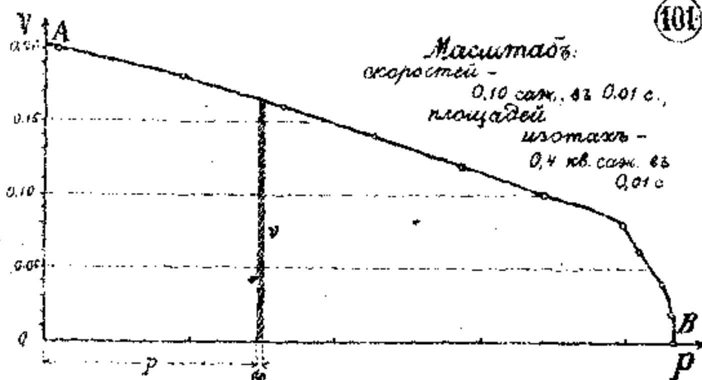
## § 50. Графическое опредѣленіе расхода по тахиграфической кривой Глушкова.

Методъ Кульмана впервые былъ примѣненъ въ 1847 г. Баумгартеномъ и позднѣе усовершенствованъ Гарлахеромъ. Проф. Глушковъ *) предлагаетъ вычисленія замѣнять построеніемъ тахиграфической кривой (по аналогіи съ гипсографической кривой, характеризующей соотношенія высотъ и глубинъ на земномъ шарѣ **). Кривая эта проводится черезъ рядъ точекъ, построенныхъ по абсциссамъ – площадямъ, ограниченнымъ изотахами, и ординатамъ – соотвѣтствующимъ имъ скоростямъ, причемъ величины площадей откладыва-

*) *На лекціяхъ по гидрологіи въ Петровской Сельско-Хозяйственной Академіи; сообщено съ разрѣшенія проф. В. Г. Глушкова.*

**) *См., напр. Курсъ физической географіи Проф. П. Броунова, стр. 164 (2 изд.).*

ется въ условномъ линейномъ масштабѣ. Для прежнихъ данныхъ тахиграфическая кривая дана на черт. 101.




Элементарная площадка, прилегающая къ ординатѣ v представляетъ изъ себя элементарный расходъ черезъ dp – ту часть площади живого сѣченія, въ которой скорость равна v, т.е.

$$q = v.dp.$$

Весь расходъ $Q = \int_0^{P_0} vdp$ выразится черезъ площадь, ограниченную тахиграфической кривой и осями координатъ. Такъ, площадь AOB на черт. 101 опредѣляетъ расходъ Q = 0.244 кв.с. (при вертик. масшт. $\frac{1}{10}$ и гориз. условномъ $\frac{1}{40}$, цѣна дѣленія планиметра c' = 0,000816 куб.с.; отсчетъ = 299).

Первому порядку подсчета расхода по способу Кульмана (по форм. 88) здѣсь соотвѣтствуетъ разбивка площади AOB на элементарныя площадки горизонтальными линіями и суммированіе:

$$Q = \int_0^{v_{max}} pdv \text{ , . . . . . . . . . . . . . . (95}$$

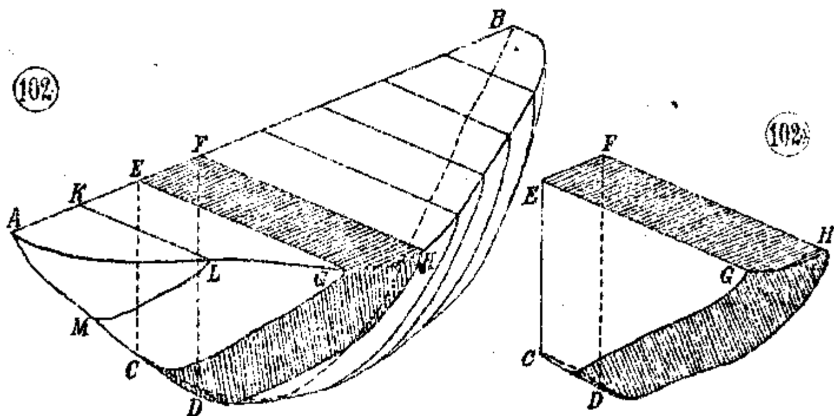
второму (по формулѣ 94) - разбивка вертикальными линіями и опредѣленіе суммы:

$$Q = \int_0^{P_0} vdp \text{ . . . . . . . . . . . . . . . (96}$$

Методъ Кульмана рекомендуется примѣнять при большихъ и неправильныхъ руслахъ. Недостаткомъ его является затруднительность вычерчиванія изотахъ.

## § 51. ВТОРОЙ МЕТОДЪ.

Второй методъ опредѣленія объема модели расхода основанъ на послѣдовательномъ опредѣленіи объема пластинокъ, образуемыхъ пересѣченіемъ модели расхода рядомъ вертикальныхъ плоскостей, перпендикулярныхъ къ плоскости живого сѣченія. Такъ, объемъ пластинки EFGHDC (черт.102) опредѣляется по площадямъ графиковъ



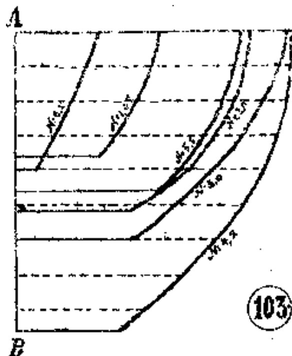

скоростей EGC и FHD и разстоянію между ними l:

$$q = \frac{\omega_n + \omega_{n+1}}{2} \cdot l, \qquad (97)$$

$$Q = \Sigma q \qquad (98)$$

Крайніе отрубки модели расхода, какъ AKLM, вычисляются по той же формулѣ (97), причемъ въ точкахъ A и B, лежащихъ у береговъ, площадь графика скоростей по вертикали принимается равною нулю, т.е.:

$$q' = \frac{\omega'}{2} \cdot l' \qquad (99)$$




Для вычисленія расхода по этому методу необходимо построить графики распредѣленія скоростей по тѣмъ вертикалямъ, на которыхъ производились измѣренія. По измѣреніямъ на р. Яузѣ построены такіе графики, причемъ для сокращенія мѣста они на черт.103 отнесены къ одной вертикали AB; номеръ графика указываетъ

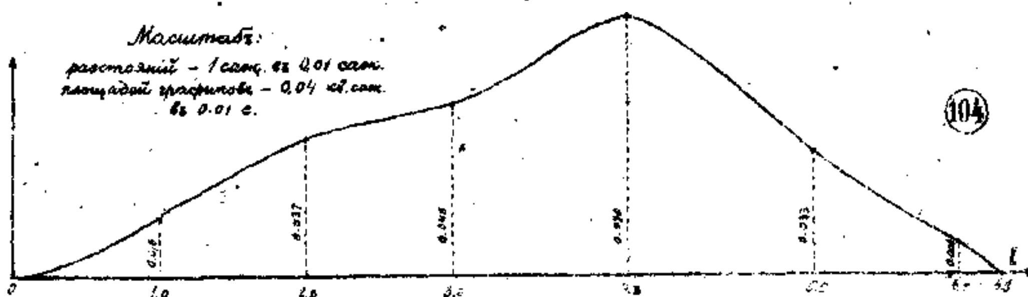
одновременно разстояніе вертикали отъ лѣваго берега въ саженяхъ.

| № вертикали | Отсчетъ по планиметру | Площадь ω | $\frac{\omega_n + \omega_{n+1}}{2}$ | Разстоянія l | $\frac{\omega_n + \omega_{n+1}}{2} \times l$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | - | 0 | | | |
| | | | 0.008 | 1.0 | 0.008 |
| 1.0 | 40 | 0.016 | | | |
| | | | 0.026 | 1.0 | 0.026 |
| 2.0 | 90 | 0.037 | | | |
| | | | 0.042 | 1.0 | 0.042 |
| 3.0 | 115 | 0.046 | | | |
| | | | 0.058 | 1.2 | 0.070 |
| 4.2 | 171 | 0.070 | | | |
| | | | 0.052 | 1.3 | 0.068 |
| 5.5 | 81 | 0.093 | | | |
| | | | 0.021 | 1.0 | 0.021 |
| 6.5 | 21 | 0.009 | | | |
| | | | 0.004 | 0.3 | 0.001 |
| 6.8 | - | 0 | | | |
| | | | | Q = | 0.286 к.с. |

(с' = 0.000408 куб.саж.)

## § 52. ГРАФИЧЕСКОЕ ОПРЕДѢЛЕНІЕ РАСХОДА ПО МЕТОДУ ПРОФ. ГАРЛАХЕРА.

Такое вычисленіе, какъ и выше, удобно можетъ быть замѣнено построеніемъ, которое притомъ же даетъ болѣе точные результаты. Для этого производится построеніе кривой по точкамъ, абсциссами которыхъ служатъ разстоянія отъ одного изъ береговъ до вертикалей, а ординатами (въ условномъ масштабѣ) площади графиковъ скоростей ω (черт. 104). Каждая изъ ординатъ представляетъ изъ себя элементарный расходъ черезъ соотвѣтственную вертикаль, поэтому построенная кривая носитъ названіе эпюры элементарныхъ



расходовъ. Площадь, ограниченная кривою и горизонтальною осью координатъ, измѣренная въ надлежащемъ масштабѣ, дастъ величину расхода. (Отсчетъ по планиметру = 298, при гориз. масштабѣ 1 саж. въ 0.01 саж. и вертик. 0,04 кв.саж. въ 0.01 саж., c' = 0,000812 куб.саж., Q = 0,243 куб.саж.)

$$Q = \int_0^l \omega\, dl = \int_0^l \int_0^h v\, dh\, dl \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (82)$$

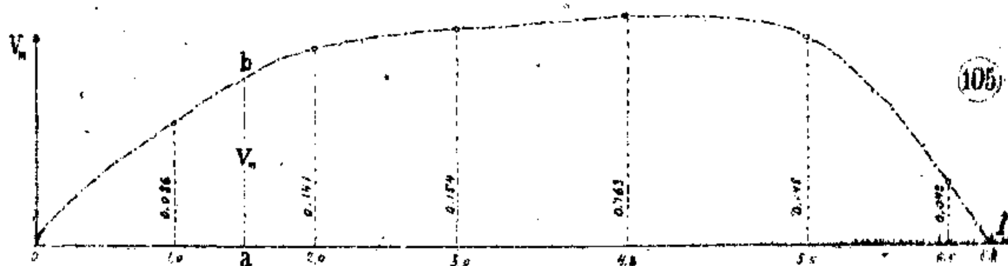
Недостаткомъ метода вычисленія расхода по графикамъ скоростей въ такомъ видѣ является то, что при измѣреніи скоростей разстоянія между вертикалями („скоростными") берутся сравнительно большія; въ этихъ предѣлахъ всегда значительно измѣняются очертанія профиля живого сѣченія, которыя улавливаются болѣе частыми - „промѣрными" вертикалями. Чтобы учесть вліяніе очертанія дна между „скоростными" вертикалями, предложенъ слѣдующій путь. Такъ какъ, согласно § 42, площадь ω можетъ быть представлена, какъ:

$$\omega = v_m . H \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (54)$$

и обратно:

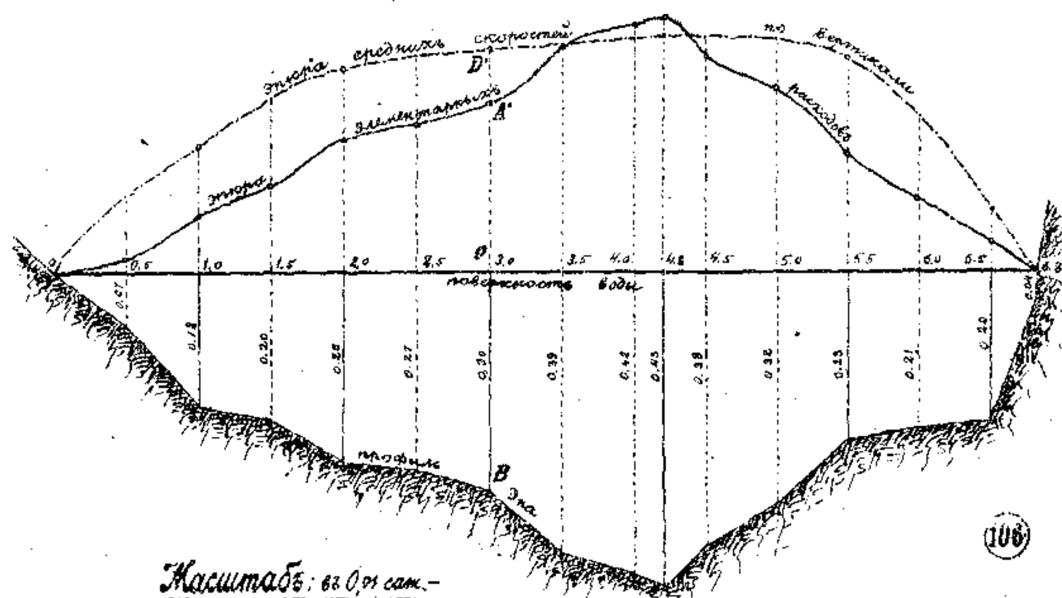
$$v_m = \frac{\omega}{H} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (100)$$

гдѣ H - глубина вертикала, $v_m$ - средняя скорость по вертикали, то предварительно строится эпюра среднихъ скоростей по вертикали (по абсциссамъ - разстояніямъ отъ берега и ординатамъ - $v_m$), которая въ общемъ имѣетъ болѣе плавныя очертанія, чѣмъ эпюра элементарныхъ расходовъ. Въ качествѣ примѣра по формулѣ 100 вычислены по указаннымъ выше ω и соотвѣтствующимъ имъ глубинамъ 0,18, 0,26, 0,30, 0,43, 0,23 и 0,20 слѣдующія $v_m$: 0.086, 0.141, 0.154, 0.163, 0.148, 0.043 саж., и по нимъ построена эпюра (черт. 105.) Эта эпюра служитъ для опредѣленія средней скорости по любой вертикали: пользованіе ею даетъ лучшіе результаты, чѣмъ простое интер-



пользованіе между сосѣдними вертикалями. Такъ, напр. по вертикали а величина средней скорости будетъ равна длинѣ отрѣзка ab. Если ее помножить на глубину этой вертикали, то (по 54) получится значеніе $w$. Такъ опредѣляютъ значенія $w$ для всѣхъ тѣхъ вертикалей, глубины которыхъ были измѣрены, и для построенія эпюры элементарныхъ расходовъ получается значительно больше точекъ, благодаря которымъ эпюра будетъ отражать всѣ перегибы профиля дна.

Обычно принято обѣ эпюры – среднихъ скоростей и элементарныхъ расходовъ – вычерчивать надъ профилемъ живого сѣченія (иногда вторая эпюра строится внизъ отъ горизонтальной оси для экономіи мѣста). Для измѣреній на р. Яузѣ это построеніе приведено на черт. 106, причемъ площадь, ограниченная „исправленной" эпюрой




элементарныхъ расходовъ и горизонтальной осью (урѣзомъ поверхности воды) даетъ величину расхода Q = 0,239 куб.саж. (отсчетъ планим. = 294).

Этотъ методъ впервые былъ примѣненъ проф. Гарлахеромъ. Благодаря многимъ достоинствамъ онъ пользуется большимъ распространенiемъ и извѣстенъ подъ именемъ метода Гарлахера.

На практикѣ онъ примѣняется въ слѣдующемъ видѣ:
По измѣреннымъ на каждой вертикали скоростямъ, при помощи одной изъ формулъ (66-70), вычисляется средняя скорость по вертикали. Полученныя данныя служатъ для построенiя эпюры среднихъ скоростей. Для каждой вертикали, въ которой измѣрена глубина, опредѣляется значенiе $w$, какъ произведенiе средней скорости на глубину вертикали, согласно (54)

$$w = v_m . H .$$

Перемноженiе, по предложенiю Гарлахера, можно замѣнить слѣдующимъ построенiемъ.

Отложимъ въ одномъ и томъ же масштабѣ по двумъ направленiямъ (произвольнымъ) величины $v_m$ = OA и H = OB (черт.107). На направленiи OB построимъ отрѣзокъ OC = 1. Точку C соединимъ съ A и черезъ точку B проведемъ линiю, параллельную CA, до пересѣченiя съ направленiемъ OA въ точкѣ D. Изъ подобiя треугольниковъ COA и BOD имѣемъ:

$$\frac{OD}{OB} = \frac{OA}{OC} ,$$

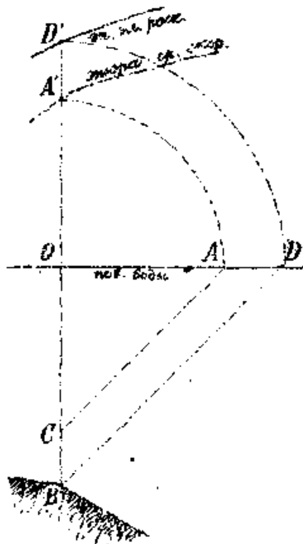
или

$$\frac{OD}{H} = \frac{v_m}{1} ; \quad OD = v_m . H = w .$$

(107)

т.е. отрѣзокъ OD изображаетъ величину элементарнаго расхода черезъ вертикаль H въ условномъ линейномъ масштабѣ, одинаковомъ съ принятымъ для построенiя.

Такое построенiе дѣлается обычно на томъ же чертежѣ, на которомъ проводятся эпюры (т.е. на черт. 106). Для этого разстоянiе отъ горизонтальной оси до эпюры среднихъ скоростей $OA' = v_m$ переносится на горизонтальную ось въ положенiе OA. По вертикальной оси внизъ откладывается отрѣзокъ OC, причемъ, если масштабъ для глубинъ принятъ $\frac{1}{a}$, для среднихъ скоростей $\frac{1}{b}$ и для элементарныхъ расходовъ $\frac{1}{c}$, то $OC = \frac{c}{ab}$ .




(108)

Черезъ точку B (дно рѣки) проводится линія BD, параллельная AC, и отрѣзокъ OD переносится на вертикаль въ положеніе OD'; D' будетъ одной изъ точекъ, служащихъ для проведенія эпюры элементарныхъ расходовъ.

Въ избранныхъ масштабахъ:

$$OA = \frac{v_x}{b}; \quad OB = \frac{H}{a}; \quad \frac{OD}{OB} = \frac{OA}{OC};$$

$$\frac{OD \cdot a}{H} = \frac{v_x \cdot ab}{b \cdot c}; OD = \frac{v_x \cdot H}{c} = \frac{\omega}{c} \quad (101)$$

Въ разобранномъ выше примѣрѣ:

$$a = 20, \quad b = 10, \quad c = 4;$$

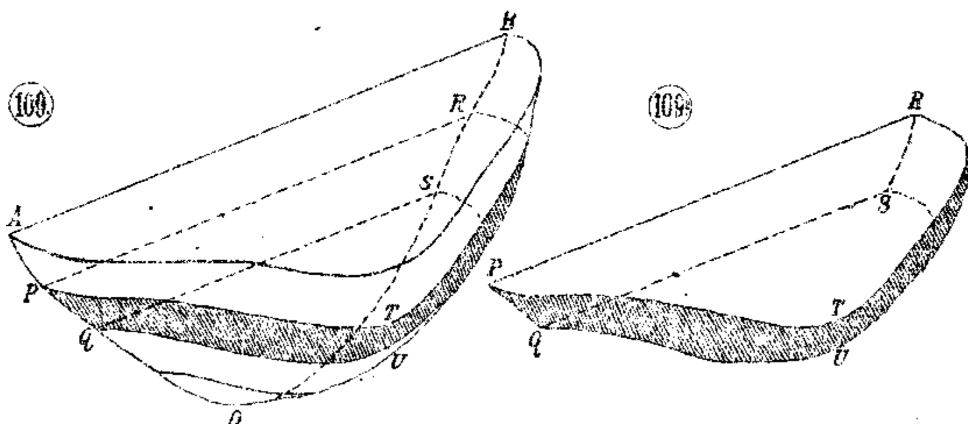
$$OC = \frac{4}{20 \cdot 10} = 0.02 \text{ саж.}$$

На разстояніи OC параллельно горизонтальной оси можетъ быть проведена линія, которая сдѣлаетъ излишнимъ откладываніе на каждой вертикали отрѣзка OC.

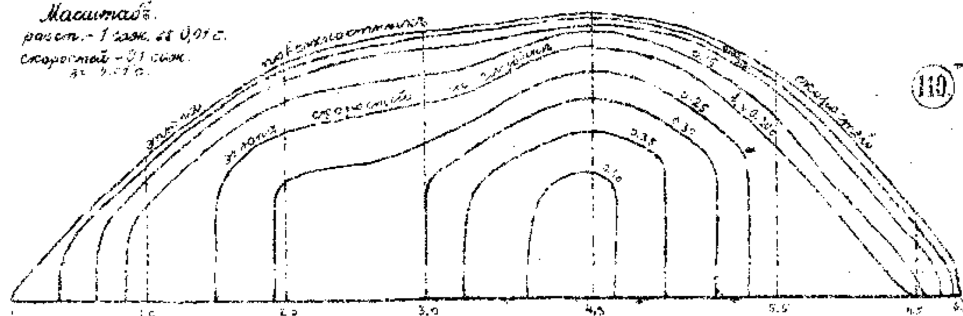
Обратнымъ графическимъ построеніемъ можетъ быть опредѣленъ масштабъ, при которомъ кривая элементарныхъ расходовъ помѣстится въ предѣлахъ листа. Для этого сначала намѣчается наибольшая величина AD' и по ней, аналогично указанному, опредѣляется величина OC, а слѣдовательно и знаменатель масштаба c.

## § 53. ТРЕТІЙ МЕТОДЪ.

На практикѣ не примѣняется, но теоретически вполнѣ цѣлесообразенъ методъ опредѣленія расхода по эпюрамъ распредѣленія скоростей на различныхъ глубинахъ. Модель расхода разбивается на рядъ пластинокъ горизонтальными плоскостями. Объемъ каждой пластинки, напр. PQTSR (черт. 109 а) опредѣляется по полусуммѣ площадей основаній - ограниченныхъ эпюрами,- помноженной на высоту, т.е. разность глубинъ, соотв. эпюрамъ. Расходъ составляется изъ суммы объемовъ отдѣльныхъ пластинокъ.




Для примѣра приведено опредѣленіе расхода р. Яузы по тѣмъ же, что и выше, даннымъ. Эпюры въ глубинахъ черезъ 0.05 саж. помѣщены на одномъ чертежѣ (черт.110).

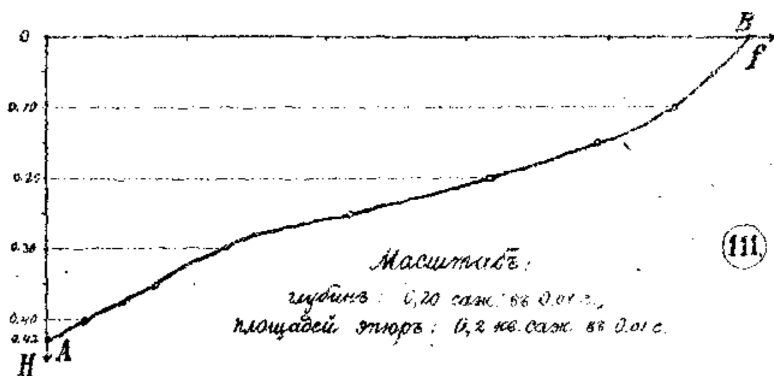



| Глубина | Отсчетъ по планиметру | Площадь эпюръ $f$ | Разность глубинъ $\Delta h$ | $\frac{f_n + f_{n+1}}{2}$ | $\frac{f_n + f_{n+1}}{2} \Delta h$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 490 | 1.000 | 0.05 | 0.974 | 0.049 |
| 0.05 | 464 | 0.947 | 0.05 | 0.919 | 0.046 |
| 0.10 | 437 | 0.891 | 0.05 | 0.838 | 0.042 |
| 0.15 | 385 | 0.785 | 0.05 | 0.712 | 0.036 |
| 0.20 | 313 | 0.639 | 0.05 | 0.537 | 0.027 |
| 0.25 | 213 | 0.435 | 0.05 | 0.344 | 0.017 |
| 0.30 | 124 | 0.253 | 0.05 | 0.204 | 0.010 |
| 0.35 | 76 | 0.155 | 0.05 | 0.104 | 0.005 |
| 0.40 | 26 | 0.053 | 0.03 | 0.026 | 0.001 |
| 0.42 | 0 | 0 | | | |
| | | | | Q = | 0.233 |

куб. с.

## § 54. ГРАФИЧЕСКОЕ ОПРЕДѢЛЕНІЕ РАСХОДА ПРИМѢНИТЕЛЬНО КЪ ТРЕТЬЕМУ МЕТОДУ.

По аналогіи съ другими методами, можетъ быть и для этого предложенъ графическій пріемъ рѣшенія. Если по вертикальной оси откладывать глубины и по горизонтальной – площади, ограниченныя эпюрами скоростей на этихъ глубинахъ, то кривая АВ, проведенная черезъ рядъ построенныхъ по такимъ координатамъ точекъ (черт. 111),



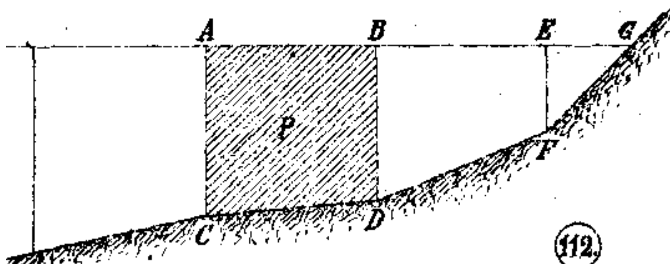

отграничитъ площадь ОАВ, величина которой въ соотв. масштабѣ и дастъ величину расхода. Для приведеннаго примѣра расходъ будетъ равенъ 0,238 куб.с. (отсчетъ 289, c' = 0,000816 куб.с.)

Вычисленіе расхода по третьему методу, а также построеніе кривой, характеризующей распредѣленіе скоростей по глубинамъ (тахибатографическая кривая), имѣютъ только теоретическій интересъ; выраженіе этого метода можно замѣнить въ вычисленіи расхода по поверхностнымъ скоростямъ (§ 58).

## § 55. УПРОЩЕННЫЕ МЕТОДЫ ВЫЧИСЛЕНІЯ РАСХОДА.

Въ виду сложности описанныхъ методовъ вычисленія расхода, на практикѣ часто примѣняются нѣсколько менѣе точные, но значительно болѣе простые пріемы, представляющіе изъ себя ни что иное, какъ упрощенныя рѣшенія задачи по второму методу. Ихъ можно подраздѣлить на 2 способа; предпочтеніе тому или другому отдается въ зависимости отъ числа промѣрныхъ вертикалей и скоростныхъ вертикалей.

Первый упрощенный методъ примѣняется въ томъ случаѣ, когда на всѣхъ промѣрныхъ вертикалахъ измѣрялись скорости. Площадь живого сѣченія разбивается этими вертикалями на рядъ трапецій; расходъ опредѣляется, какъ сумма частичныхъ расходовъ q черезъ площадь каждой трапеціи. Величина частичнаго расхода черезъ площадь




ABDC (черт. 112) вычисляется, какъ произведеніе площади p на среднюю скорость для всѣхъ точекъ этой площади $v_m$;

$$q = pv_m \qquad (102)$$

Величина $v_m$ приближенно принимается равною полусуммѣ среднихъ скоростей по вертикалямъ AC и BD — $v_m'$ и $v_m''$

$$v_m = \frac{v_m' + v_m''}{2} \qquad (103)$$

Величина площади p, какъ площади трапеціи, равна:

$$p = \frac{H' + H''}{2} \cdot b \qquad (104)$$

гдѣ H' = AC и H'' = BD — глубины вертикалей и b — разстояніе между ними;

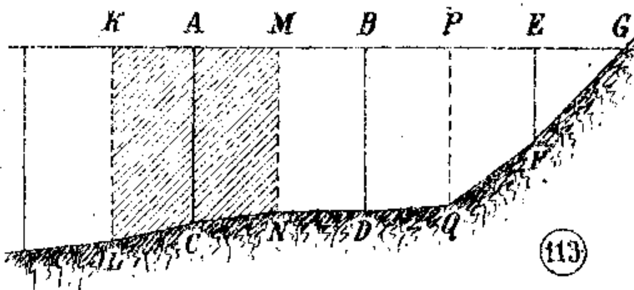
$$q = \frac{H' + H''}{2} \cdot b \cdot \frac{v_m' + v_m''}{2} \qquad (105)$$

Расходъ черезъ площади треугольниковъ у береговъ, какъ EFG, вычисляется въ предположеніи, что въ точкѣ G скорость равна нулю, т.е.

$$q' = \frac{H'''}{2} \cdot b' \cdot \frac{v_m'''}{2} \qquad (106)$$

Второй упрощенный методъ удобенъ въ томъ случаѣ, когда число промѣрныхъ вертикалей вдвое больше, чѣмъ скоростныхъ. Заключается онъ въ разбивкѣ площади живого сѣченія на участки промѣрными вертикалями KL, MN, PQ (черт. 113), и средняя скорость на каждомъ участкѣ, какъ KMNL, приближенно считается равною средней скорости $v_m$ по вертикали AC, на которой произведены измѣренія скоростей. Частичный расходъ черезъ площадь KMNL равенъ:

$$q = p \cdot v_м \quad . \; . \; . \; (107)$$



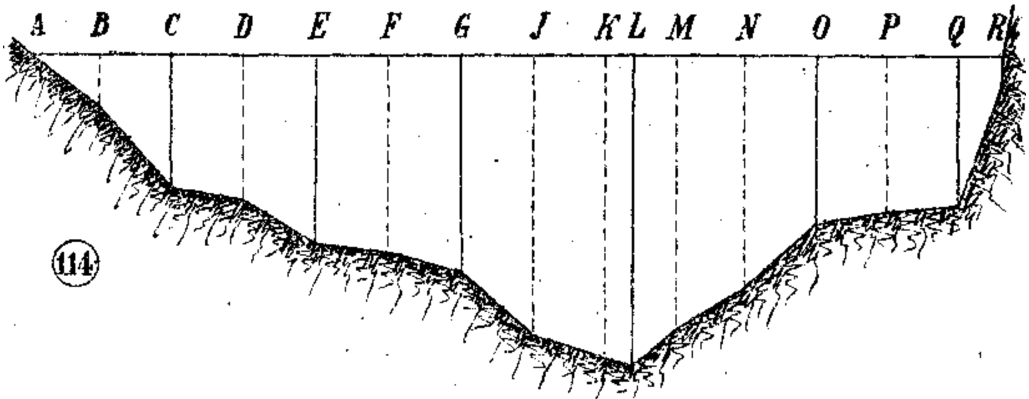

Величина p опредѣляется, какъ сумма площадей трапецій KACL и AMNC по глубинамъ вертикалей $H' = AC$, $H_1 = KL$ и $H_2 = MN$ и разстояніямъ между ними $KA = b_1$ и $AM = b_2$:

$$p = \frac{H_1 + H'}{2} \cdot b_1 + \frac{H' + H_2}{2} \cdot b_2 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (108)$$

Очень часто разстоянія между промѣрными вертикалями равны, т.е. $b_1 = b_2 = b$; тогда:

$$p = \frac{H_1 + 2H' + H_2}{2} \cdot b \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (109)$$

$$q = \frac{H_1 + 2H' + H_2}{2} \cdot b \cdot v_m \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (110)$$




Въ качествѣ примѣра разработаны тѣ же данныя, по которымъ выше всѣми методами вычисленъ расходъ. Для перваго способа приняты во вниманіе только скоростныя вертикали C, E, G, L, O и Q (черт. 114).

| №№ вертикалей | Разстоянія b | Глубина Н | $\frac{H+H}{2}$ | $\frac{H+H}{2} \cdot b$ | Ср. скорости по верт. v | $\frac{v+v}{2}$ | Частичные расходы |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | | 0,00 | | | 0,000 | | |
| | 1,0 | | 0,09 | 0,09 | | 0,043 | 0,004 |
| C | | 0,18 | | | 0,086 | | |
| | 1,0 | | 0,22 | 0,22 | | 0,114 | 0,025 |
| E | | 0,26 | | | 0,141 | | |
| | 1,0 | | 0,28 | 0,28 | | 0,147 | 0,041 |
| G | | 0,30 | | | 0,154 | | |
| | 1,2 | | 0,36 | 0,43 | | 0,158 | 0,068 |
| L | | 0,43 | | | 0,163 | | |
| | 1,3 | | 0,33 | 0,43 | | 0,156 | 0,067 |
| O | | 0,23 | | | 0,148 | | |
| | 1,0 | | 0,22 | 0,22 | | 0,096 | 0,021 |
| Q | | 0,20 | | | 0,043 | | |
| | 0,3 | | 0,10 | 0,03 | | 0,021 | 0,001 |
| R | | 0,00 | | | 0,000 | | |
| | | | | | | Q = | 0,227 |

Для второго способа приняты во вниманіе, кромѣ указанныхъ выше вертикалей „скоростныхъ", еще и промѣрныя вертикали B, D, F, J, N и

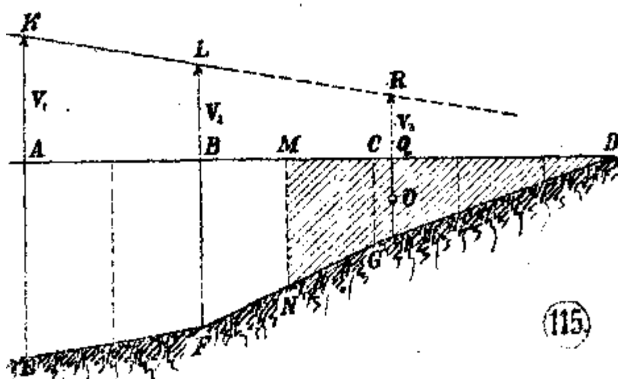
| №№ вертикалей | Разстоянія b | Глубина Н | $\frac{H+H}{2}$ | $\frac{H+H}{2} \cdot b$ | Площади участков | Средняя скорость | Частичные расходы |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | | 0,00 | | | | 0,000 | |
| | 0,5 | | 0,04 | 0,02 | | | |
| B | | 0,07 | | | | | |
| | 0,5 | | 0,12 | 0,06 | 0,18 | 0,086 | 0,015 |
| C | | 0,18 | | | | | |
| | 0,5 | | 0,19 | 0,10 | | | |
| D | | 0,20 | | | | | |
| | 0,5 | | 0,23 | 0,11 | | | |
| E | | 0,26 | | | 0,24 | 0,141 | 0,034 |
| | 0,5 | | 0,26 | 0,13 | | | |
| F | | 0,27 | | | | | |
| | 0,5 | | 0,28 | 0,15 | | | |
| G | | 0,30 | | | 0,32 | 0,154 | 0,049 |
| | 0,5 | | 0,34 | 0,17 | | | |
| J | | 0,39 | | | | | |
| | 0,7 | | 0,41 | 0,29 | | | |
| L | | 0,43 | | | 0,59 | 0,163 | 0,096 |
| | 0,8 | | 0,38 | 0,30 | | | |
| N | | 0,32 | | | | | |
| | 0,5 | | 0,27 | 0,13 | | | |
| O | | 0,23 | | | 0,24 | 0,148 | 0,036 |
| | 0,5 | | 0,22 | 0,11 | | | |
| P | | 0,21 | | | | | |
| | 0,5 | | 0,21 | 0,11 | | | |
| Q | | 0,20 | | | 0,15 | 0,043 | 0,006 |
| | 0,3 | | 0,12 | 0,04 | | | |
| R | | 0,04 | | | | 0,000 | |
| | | | | | | Q = | 0,236 |

Два указанныхъ способа являются самыми простыми. Вслѣдствіе ихъ простоты есть смыслъ примѣнять ихъ для предварительныхъ (въ полѣ) подсчетовъ и вообще въ тѣхъ случаяхъ, когда не требуется высокая точность. Зато совершенно нераціонально примѣненіе ряда другихъ, болѣе сложныхъ способовъ приближеннаго опредѣленія расхода, которые рекомендуются въ нѣкоторыхъ инструкціяхъ. Способы эти стремятся учесть вліяніе глубинъ и скоростей на сосѣднихъ съ каждымъ участкомъ вертикаляхъ и исправить простыя формулы (105) и (110) по этимъ даннымъ, однако они слишкомъ усложняютъ вычисленіе, хотя теоретически даютъ лучшіе результаты, чѣмъ формулы, имѣющія въ основѣ прямолинейную интерполяцію. Вычисленіе по такимъ формуламъ лучше замѣнить опредѣленіемъ расхода по методу Гарлахера, хотя бы замѣнивъ приближеннымъ вычисленіемъ по трапеціямъ измѣреніе планиметромъ площади, ограниченной эпюрой элементарныхъ расходовъ, т.е. считать площадь живого сѣченія разбитой скоростными вертикалями на участки, частичный расходъ каждаго изъ которыхъ опредѣлится по формулѣ:

$$q = \frac{H'v' + H''v''}{2} \times b \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ (111)$$

(обозначенія тѣ же, что въ формулѣ (105).

Иногда встрѣчаются затрудненія съ вычисленіемъ расхода прибрежныхъ участковъ, на которыхъ измѣренія скоростей не производятся, т.к. скорость тамъ обычно меньше чувствительности вертушки. Рекомендуется въ этихъ случаяхъ измѣрять скорость хотя бы приблизительно (поплавкомъ); если же она не измѣрена, можно предложить опредѣленіе ея по прямолинейной экстраполяціи. Для этого, подобно графическому рѣшенію по методу Гарлахера (см. § 49) на двухъ ближайшихъ къ берегу вертикаляхъ откладываются величины среднихъ скоростей по вертикали (черт.115). Пусть, напр. среднія скорости на вертикаляхъ A и B равны $v_1$ = AK и $v_2$ = BL.



Черезъ точки K и L проводится эпюра среднихъ скоростей, принимаемая приближенно за прямую съ уравненiемъ типа $v = a + bl$. Расходъ черезъ прибрежный участокъ MDN, на которомъ не было измѣренiй скорости, будетъ равенъ:

$$q' = \int_M^D h v dl = \int_{l_1}^{l_2} h(a + bl)\, dl = a\int_{l_1}^{l_2} h . dl + b\int_{l_1}^{l_2} hl dl \quad .. \quad (112)$$

Первый интегралъ выражаетъ площадь участка MDN = p', второй - статическiй моментъ этой площади, который равенъ произведенiю площади на абсциссу $l_3$ ея центра тяжести (точка O):

$$q' = ap' + bp'l_3 = p'(a + bl_3) \quad , \quad . . . . . . . . \quad (113)$$

$$a + bl_3 = v_3 \, ,$$

т.е. средней скорости по вертикали, проходящей черезъ центръ тяжести O, эта средняя скорость опредѣляется графически, какъ длина отрѣзка QR до продолженiя линiи KL;

$$q' = p'v_3 \quad . . . . . . . . . . . . . . . \quad (114)$$

## § 56. ВЫЧИСЛЕНIЕ РАСХОДА ПО СРЕДНЕЙ ДЛЯ ВСЕГО ЖИВОГО СѢЧЕНIЯ СКОРОСТИ.

Если опредѣлить среднюю для всего живого сѣченiя скорость $(v_m)$, то расходъ можно вычислить по формулѣ:

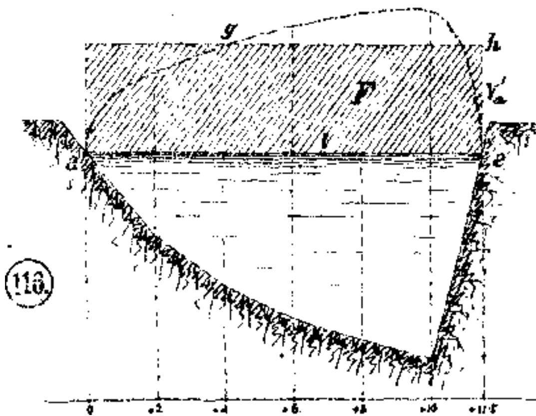
$$Q = (v_m) . p \quad . . . . . . . . . . . . . . . . \quad (115)$$

гдѣ p - величина площади живого сѣченiя. Многiе авторы, въ томъ числѣ проф. Фридрихъ, неправильно рекомендуютъ опредѣлять величину $(v_m)$, какъ среднее значенiе среднихъ скоростей по вертикалямъ, путемъ опредѣленiя высоты $af = v'_m$ прямоугольника afhe (черт.116), равновеликаго площади age, ограниченной эпюрой среднихъ скоростей по вертикалямъ и горизонтальной осью (ср. черт. 105) = F:

$$v'_m = \frac{F}{l} = \frac{\int_0^l v_m dl}{l} = \frac{1}{l}\int_0^l \frac{1}{h}\int_0^h v dh . dl \quad . . . . . . . . \quad (116)$$

Для того, чтобы было соблюдено равенство (115), необходимо, чтобы lh = p, т.к. только въ этомъ случаѣ:

$$v'_m = \frac{1}{lh}\int_0^l\int_0^h v\,dh\,dl = \frac{1}{lh}\cdot Q = \frac{Q}{p},$$




(116)

а это значитъ, что $v'_m$ можетъ быть средней скоростью для всей площади живого сѣченія только въ томъ случаѣ, когда русло имѣетъ прямоугольное поперечное сѣченіе. Въ дѣйствительности же у естественныхъ руселъ $h = f(l)$ и, слѣдовательно, предлагаемый способъ непригоденъ онъ долженъ быть замѣненъ методомъ Гарлахера, тѣмъ болѣе, что дѣлается часть построеній, какъ разъ необходимыхъ для этого метода.

Для сравненія съ приведенными выше примѣрами, опредѣленъ расходъ и этимъ способомъ. Площадь, ограниченная эпюрой среднихъ скоростей (черт.106) и горизонтальной осью равна 0,830 кв.саж., откуда $v'_m = \frac{0,830}{6,8} = 0,122$ с. (ширина поверхности рѣки $l = 6,8$ саж.) и расходъ $Q = 1,72 \cdot 0,122 = 0,211$ куб.с., въ то время какъ истинная средняя скорость для всей площади живого сѣченія:

$$(v_m) = \frac{Q}{p}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (117)$$

при величинѣ $Q = 0.239$ должна быть равна 0,138 саж.

Описанный способъ можетъ дать вѣрные результаты лишь при условіи вычисленія „среднихъ фиктивныхъ скоростей по вертикали" *); для этого сначала вычисляютъ среднюю глубину живого сѣченія, дѣля площадь его $p$ на ширину поверхности $l$, т.е.

$$h_m = \frac{p}{l}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (118)$$

затѣмъ опредѣляютъ среднюю фиктивную скорость по вертикали дѣленіемъ площади графика скоростей на $h_m$:

---

*) *Н.Е.Жуковскій. О видоизм. направленія скоростей и т.д.*

$$(v) = \frac{\omega}{h_m} \quad . . . . . . . . . . . . . . (119)$$

или же, по действительной средней скорости по вертикали:

$$v_m = \frac{\omega}{h}$$

въ видѣ:

$$(v) = \frac{v_m . h}{h_m} \quad . . . . . . . . . . . . . (120)$$

По величинамъ $(v)$ строится, аналогично § 49, эпюра среднихъ фиктивныхъ скоростей по вертикали, которая будетъ ограничивать площадь

$$P = \int_0^l \frac{v_m h}{h_m} . dl \quad . . . . . . . . . . . (121)$$

Если эту площадь P замѣнить, какъ это сдѣлано на черт.116, равновеликимъ прямоугольникомъ, то высота его y будетъ равна:

$$y = \frac{P}{l} = \frac{1}{lh_m} \int_0^l v_m h dl, \quad . . . . . . . . . (122)$$

причемъ интегралъ представляетъ изъ себя расходъ (какъ площадь, ограниченную эпюрою элементарныхъ расходовъ, ср. § 49), а произведеніе $lh_m = p$, т.е. площади живого сѣченія (по 118); слѣдовательно:

$$y = \frac{Q}{p},$$

т.е. высота прямоугольник. дастъ среднюю скорость для всего живого сѣченія:

$$y = (v_m) = \frac{Q}{p} \quad . . . . . . . . . . . . (123)$$

и расходъ Q опредѣляется, какъ:

$$Q = (v_m) . p \quad . . . . . . . . . . . . . (124)$$

Для того же примѣра средняя глубина:

$$h_m = \frac{1,73}{6,8} = 0.254 \text{ саж.}$$

По значеніямъ $\omega$, указаннымъ въ примѣрѣ въ § 49, вычисляемъ среднія фиктивныя скорости по вертикали по (119):

0, 0.063, 0.146, 0.191, 0.276, 0.128, 0.035, 0 .

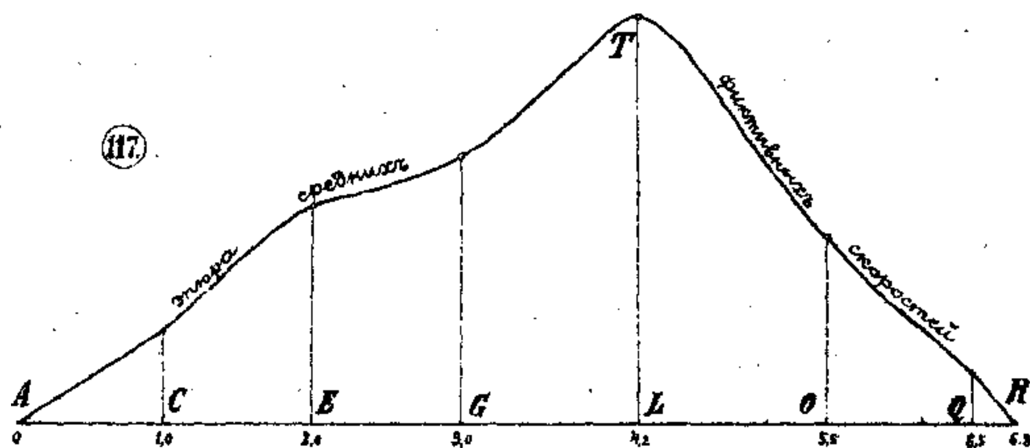
Аналогично съ черт.105 строимъ эпюру среднихъ фиктивныхъ

скоростей по вертикали (черт. 117); площадь, ограниченная кривою ATR и горизонтальною осью, равна 0,945 кв.саж. Средняя скорость для всего живого сѣченія:

$$(v_m) = \frac{0.945}{6.8} = 0.139 \text{ саж.}$$

и расходъ: $Q = 0,139 \times 1,73 = 0.240$ куб.саж.

Способъ этотъ нѣсколько похожъ на способъ Гарлахера; послѣднему, однако, слѣдуетъ отдать предпочтеніе, въ виду того, что онъ даетъ возможность принять во вниманіе промежуточные промѣры при помощи построенія эпюры среднихъ скоростей по вертикалямъ.




## § 57. ВЫЧИСЛЕНІЕ РАСХОДА ПО НАИБОЛЬШЕЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ СКОРОСТИ.

При вычисленіи расхода по измѣреннымъ поверхностнымъ скоростямъ необходимо различать два совершенно различныхъ случая:

1) когда измѣрена одна только наибольшая поверхностная скорость; такъ производятся измѣренія на небольшихъ равнинныхъ ручьяхъ;

2) когда измѣрялись поверхностныя скорости на различныхъ разстояніяхъ по ширинѣ рѣки, т.е. на многихъ вертикалахъ.

Въ первомъ случаѣ по измѣренной наибольшей поверхностной скорости ($v_{max}$) вычисляется средняя скорость ($v_m$) для всего живого сѣченія p:

$$(v_m) = (v_{max}) . K. \qquad (125)$$

$$Q = (v_m).p \qquad (115)$$

Для опредѣленія значенія переходнаго коэффиціента $K_1$ предложено нѣсколько эмпирическихъ формулъ. Такова формула Проні, указанная въ § 41:

$$K_1 = \frac{(v'_{max}) + 1,10}{(v_{max}) + 1,47} \text{ (для саженныхъ мѣръ)}, \qquad (72)$$

въ которой величина $K_1$, въ зависимости отъ величины ($v_{max}$), можетъ имѣть значенія отъ 0.75 и почти до 1.

Лучшіе результаты даетъ формула Базена:

$$K_1 = \frac{c}{c + 9,58} \text{ (для саженныхъ мѣръ)}, \qquad (126)$$

для которой необходима величина скоростного коэффиціента c, входящаго въ формулу Шези (см. ниже). Если c опредѣлять по „новой" формулѣ Базена, то въ зависимости отъ гидравлическаго радіуса R можно предложить слѣдующія формулы (въ саженныхъ мѣрахъ):

для земляного русла съ ровнымъ дномъ, мало заросшаго:

$$K_1 = \frac{7}{8,1 + \frac{1}{\sqrt{R}}} \qquad (127)$$

для русла сильно заросшаго, со скалистымъ, неровнымъ дномъ:

$$K_1 = \frac{5,2}{6 + \frac{1}{\sqrt{R}}} \qquad (128)$$

(Объ опредѣленіи величины R, а также болѣе подробно о коэффиціентѣ c, см. ниже).

## § 58. ВЫЧИСЛЕНІЕ РАСХОДА ПО ПОВЕРХНОСТНЫМЪ СКОРОСТЯМЪ.

Во второмъ случаѣ, когда измѣрены поверхностныя скорости $v_n$ на многихъ вертикаляхъ, по этимъ скоростямъ вычисляютъ среднія

скорости по вертикалямъ $v_m$ и въ общемъ производятъ работу по одному изъ пріемовъ, указанныхъ въ §§ 49, 51 и 52.

Величина переходнаго коэффиціента К въ формулѣ

$$v_m = K \cdot v_n \ldots\ldots\ldots\ldots (70)$$

зависитъ, какъ показали изслѣдованія, отъ цѣлаго ряда факторовъ: она обратно пропорціональна глубинѣ вертикали и прямо пропорціональна величинѣ $v_n$. Кромѣ того, на величину К вліяютъ: скорость и направленіе вѣтра, характеръ русла, ледяной покровъ, продольный поверхностный уклонъ рѣки, а также, повидимому, температура и мутность воды.

Для опредѣленія величины К было предложено много эмпирическихъ формулъ, которыя учитываютъ только одну какую-нибудь зависимость, или же считаютъ значеніе К постояннымъ. Такъ, по Хагену, величина К вычисляется по глубинѣ вертикали Н (въ саженяхъ):

$$K = \frac{1 + 0,3907 \cdot \sqrt{H}}{1 + 0,5860 \cdot \sqrt{H}} \ldots\ldots\ldots (129)$$

для большихъ и спокойныхъ рѣкъ:

$$K = 1 - 0,85 \cdot \sqrt{H} \ldots\ldots\ldots\ldots (130)$$

По Ламейеру:

$$K = 0,937 - 0.0539\ v_n \quad \text{(въ сек.)} \ldots (131)$$

По Вагнеру:

$$K = 0.838.$$

Часто, за неимѣніемъ другихъ данныхъ, берется среднее значеніе К = 0.84 - 0.85; для широкихъ руселъ 0,90.

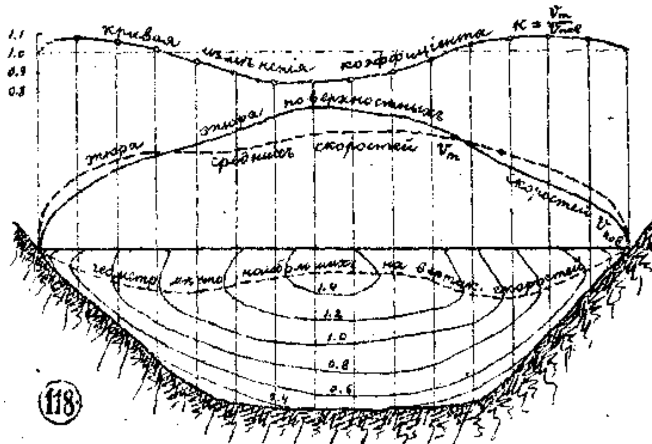
Проф. Глушковъ предложилъ примѣнять болѣе универсальную формулу, выведенную имъ изъ уравненія графика скоростей по Базену, въ предположеніи, что глубина точки, въ которой можетъ быть измѣрена наибольшая скорость, можетъ быть различна, въ зависимости отъ вѣтра и другихъ мѣстныхъ условій. Для саженныхъ мѣръ эта формула имѣетъ видъ:

$$K = 1 - \frac{4,56\sqrt{Hi}}{v_n} \cdot y \ldots\ldots\ldots (132)$$

гдѣ i - поверхностный уклонъ рѣки, а y - коэффиціентъ, зависящій отъ глубины расположенія наибольшей скорости - z (въ доляхъ полной глубины Н):

$$y = \frac{1 - 3z}{(1 - z)^2} \ldots\ldots\ldots\ldots (133)$$

Когда наибольшая скорость будетъ на поверхности, $z = 0$; $y = 1$; при $z = \frac{1}{6}$, $y = 0{,}72$, при $z = \frac{1}{3}$, $y = 0$. При большихъ глубинахъ $z$ значеніе $y$ будетъ отрицательно и величина $K$ – больше единицы, что и имѣетъ мѣсто при попутномъ вѣтрѣ, у береговъ и подъ ледянымъ покровомъ. Примѣненіе формулы (132) дастъ наиболѣе близкіе къ дѣйствительности результаты, если ее считать эмпирической, опредѣляя величину $y$ изъ наблюденій въ различныхъ условіяхъ. Такъ какъ величина $K$ мѣняется по ширинѣ рѣки, то рекомендуется эту зависимость опредѣлять для нѣсколькихъ вертикалей, изображать ее графически (черт. 118), и для промежуточныхъ вертикалей находить интерполяціею.




На р. Чусовой инж. Моисеенко изучалъ зависимость между величиною $K$ и глубиною воды на постоянныхъ вертикаляхъ; ясная закономѣрность имъ не установлена.

Такъ какъ описанный способъ очень сложенъ, на практикѣ находитъ примѣненіе болѣе упрощенный способъ вычисленія расхода.

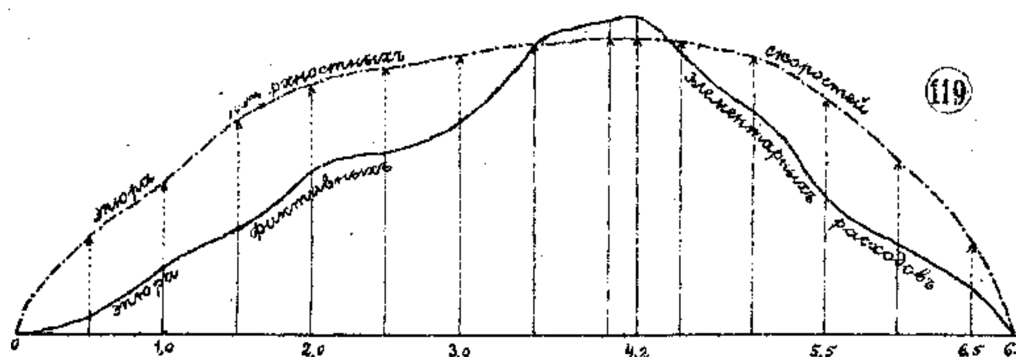
По измѣреннымъ поверхностнымъ скоростямъ, принимая ихъ за среднія скорости по вертикали, вычисляется фиктивный расходъ $Q'$, а по нему дѣйствительный $Q$:

$$Q = K' Q', \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (134)$$

причемъ для опредѣленія величины переходнаго коэффиціента $K'$ измѣряютъ при различныхъ горизонтахъ дѣйствительный расходъ (напр. вертушкой) и строятъ кривую зависимости величины $K' = \frac{Q}{Q'}$ отъ высоты горизонта воды; затѣмъ по этой кривой опредѣляютъ значеніе $K'$ по высотѣ уровня воды. Если кривой нѣтъ, можно пользоваться приближеннымъ значеніемъ $K' = 0{,}9$.

Самое вычисленіе удобно вести по методу Гарлахера: построить эпюру поверхностныхъ скоростей и эпюру фиктивныхъ элементарныхъ расходовъ $q = v_n . H$; площадь, ограниченная послѣдней

эпюрою, дастъ величину Q'. Этотъ методъ очень удобенъ въ томъ отношенiи, что вслѣдствiе нѣкоторой произвольности хода поплавковъ, скоростныя вертикали обычно не совпадаютъ съ промѣрными. При большомъ числѣ измѣренныхъ скоростей, особенно, если вертикали расположены группами (что часто бываетъ при измѣренiи скоростей поплавками), рекомендуется всѣ измѣренiя разбить на рядъ группъ, вычислить для каждой изъ нихъ одну среднюю скорость и отнести ее къ средней вертикали, разстоянiе которой отъ берега вычисляется, какъ среднее ариөметическое разстоянiй всѣхъ входящихъ въ группу вертикалей.




Для примѣра примемъ поверхностныя скорости изъ прежнихъ данныхъ; по нимъ построена эпюра поверхностныхъ скоростей (черт.119) и эпюра фиктивныхъ элементарныхъ расходовъ. Площадь, ограниченная послѣднею эпюрою и горизонтальною осью, даетъ величину Q' = 0,299 куб. саж. Если принять, за неимѣнiемъ другихъ данныхъ, K' = 0,9, то расходъ будетъ равенъ 0,299 . 0,9 = 0,269 куб.саж., т.е. замѣтно преувеличенъ. Наоборотъ, принявъ величину расхода по §§ 48-52 — Q = 0,239 куб.с., можно опредѣлить значенiе коэффицiента K':

$$K' = \frac{Q}{Q'} = \frac{0,239}{0,299} = 0,80.$$



## ГЛАВА V. МЕТОДЫ ИЗМѢРЕНІЯ СКОРОСТЕЙ.

### § 59. ИЗМѢРЕНІЕ СКОРОСТЕЙ ПО ВЕРТИКАЛЯМЪ.

Конструкція большинства гидрометрическихъ приборовъ, которые опускаются въ воду на штангѣ или на тросѣ, подсказываетъ, что наиболѣе удобно въ практическомъ отношеніи измѣрять скорости по отдѣльнымъ вертикалямъ. Въ дѣйствительности такой порядокъ измѣреній примѣняется почти исключительно, что можно объяснить слѣдующими обстоятельствами:

1) на рѣкахъ широкихъ, быстрыхъ и съ оживленнымъ судоходствомъ значительныя затрудненія представляетъ установка прибора въ необходимомъ мѣстѣ по ширинѣ рѣки; выгоднѣе, разъ установивъ на какой-нибудь вертикали приборъ, сдѣлать имъ большее число измѣреній на различныхъ глубинахъ, чѣмъ устанавливать приборъ на большемъ числѣ вертикалей;

2) распредѣленіе скоростей по вертикали изслѣдовано лучше, чѣмъ по другимъ направленіямъ; предложенъ цѣлый рядъ формулъ для опредѣленія средней скорости по немногимъ измѣреніямъ (ср. § 41);

3) для вычисленія расхода очень удобенъ и подробно разработанъ второй методъ - по графикамъ скоростей, а также его упрощенія; кромѣ того, измѣреніе скоростей по вертикалямъ не исключаетъ возможности проведенія изотахъ и вычисленія расхода по методу Кульмана.

Изъ тѣхъ приборовъ, которые не устанавливаются на вертикаляхъ, часто на практикѣ примѣняются поверхностные поплавки, измѣряющіе скорости по горизонтали - поверхности воды; однако и этимъ наблюденіямъ стремятся придать характеръ измѣреній по отдѣльнымъ вертикалямъ, вычисляя по нимъ среднія скорости по вертикалямъ и примѣняя тѣ же въ общемъ методы вычисленія расхода.

### § 60. ПОДРАЗДѢЛЕНІЕ МЕТОДОВЪ ИЗМѢРЕНІЯ СКОРОСТЕЙ ПО ВЕРТИКАЛИ.

Въ зависимости отъ порядка, по которому опредѣляется средняя скорость по вертикали, необходимая при вычисленіи расхода, методы измѣренія скоростей по вертикали могутъ быть раздѣлены на

1) основной методъ, когда измѣренія производятся въ рядѣ точекъ на различныхъ глубинахъ; между этими глубинами распредѣленіе скоростей опредѣляется достаточно точно по интерполяціи;

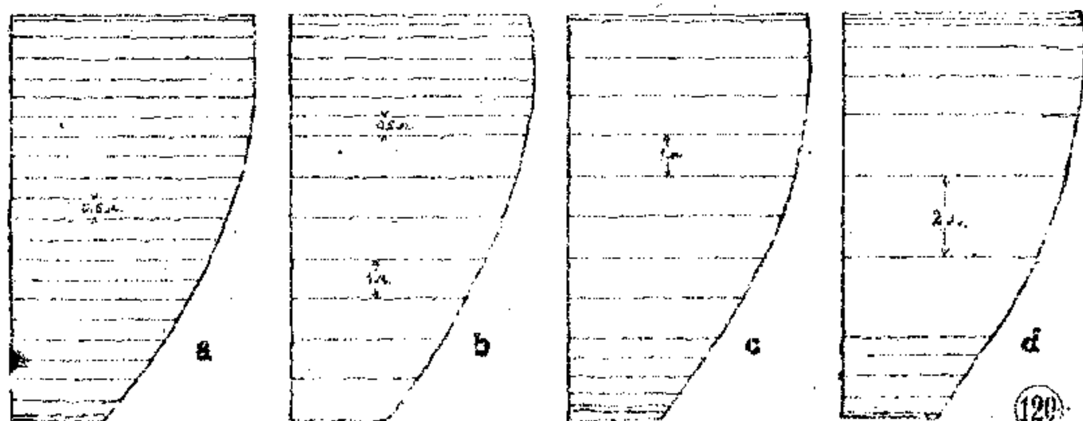
2) интеграціонный методъ, заключающійся въ опредѣленіи сразу средней скорости по вертикали при помощи передвиженія прибора во время наблюденія по всей длинѣ вертикали;

3) детальный методъ, основанный на непрерывной записи показаній прибора во время его передвиженія по вертикали; этотъ методъ даетъ картину распредѣленія скоростей безъ интерполяціи, съ любою степенью точности;

4) приближенные методы, являющіеся упрощеніемъ основного въ отношеніи количества точекъ, въ которыхъ производятся измѣренія (1,2 или 3 точки, а также, какъ частный случай, измѣреніе поверхностной скорости).

## § 61. ОСНОВНОЙ МЕТОДЪ ИЗМѢРЕНІЯ СКОРОСТЕЙ.

Методъ, заключающійся въ измѣреніи скоростей въ рядѣ отдѣльныхъ точекъ по вертикали - многоточечный или, по Жуковскому *), - основной методъ - можетъ быть примѣненъ при работѣ съ большинствомъ гидрометрическихъ приборовъ. Цѣлью измѣренія скоростей является построеніе графика скоростей по вертикали. Въ зависимости отъ требуемой точности результатовъ выбирается число точекъ, которое, однако, не должно быть менѣе пяти. Распредѣленіе этихъ точекъ по глубинамъ можетъ быть различно, причемъ раз-




*) Н.Н.Жуковскій. О методахъ измѣренія скоростей и т.д.

личныя инструкціи указываютъ разстоянія между точками или постоянныя, или въ доляхъ полной глубины. Въ общемъ, намѣчаются слѣдующіе четыре типа выбора точекъ по вертикали:

1) точки равномѣрно распредѣлены по вертикали (черт. 120, a); намѣряются скорости возможно ближе около поверхности и у дна; оставшееся пространство или дѣлится на постоянное число (не менѣе 4 - методъ Швейцарскаго Гидрометрическаго Бюро), или точки распредѣляются черезъ постоянное разстояніе (0,5 саж. на волжскихъ гидрометрическихъ станціяхъ) или опредѣленную долю глубины вертикали (0,1 - 0,2 глубины - въ С. Америкѣ);

2) точки намѣчаются болѣе часто вблизи поверхности воды (черт. 120, b); этотъ методъ, рекомендуемый проф. Фридрихомъ, слѣдуетъ признать неудовлетворительнымъ, т.к. остается мало изслѣдованной часть вертикали ближе къ дну; кромѣ того, если производить измѣренія скоростей на одной и той же вертикали при различныхъ высотахъ горизонта воды, то такія измѣренія нельзя будетъ непосредственно сравнивать, т.к. точки измѣреній будутъ каждый разъ другія. Этихъ недостатковъ лишенъ методъ

3), когда точки распредѣляются болѣе тѣсно около дна (черт. 120, c) черезъ опредѣленныя разстоянія: независимо отъ высоты горизонта, измѣренія всегда будутъ производиться въ однѣхъ и тѣхъ же точкахъ, которыя окажутся ниже поверхности воды. Впервые этотъ методъ былъ примѣненъ при работахъ на р. Эльбѣ (1894 г.): скорости измѣрялись на высотѣ 0.15, 0.30, 0.60, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0 и т.д. метровъ отъ дна и, кромѣ того, на разстояніи 0,15 м. отъ поверхности воды. Инж. Моисеенко на первомъ метрѣ отъ дна намѣчалъ точки черезъ 0.20 м., на второмъ - черезъ 0.30 м. и т.д., и независимо отъ этого измѣрялъ скорость возможноближе къ дну и къ поверхности воды.

4) точки группируются болѣе тѣсно какъ около поверхности воды, такъ и вблизи дна (черт. 120, d) - методъ, принятый на работахъ въ Венгріи.

Послѣдній методъ слѣдуетъ считать наилучшимъ при измѣреніяхъ подъ ледянымъ покровомъ, вообще же слѣдуетъ примѣнять методъ третій. Къ этому типу относится и требуемое „Инструкціями для изслѣдованія водныхъ путей" Министерства Путей Сообщенія распредѣленіе точекъ:

a) возможно ближе къ поверхности,

b) на 0,2 глубины вертикали,

c) на 0,6 глубины вертикали,

d) на 0,8 глубины вертикали и

e) возможно ближе ко дну,

ь тою лишь разницею, что точки не остаются постоянными при измѣненіи высоты горизонта.

Достоинства основного метода измѣренія скоростей несомнѣнны; онъ долженъ примѣняться въ особенности въ ненормальныхъ условіяхъ, когда приближенныя формулы для вычисленія средней скорости неприменимы. Недостаткомъ его можно считать большую продолжительность наблюденій, что увеличиваетъ стоимость работъ; за время наблюденія на одной вертикали могутъ произойти замѣтныя измѣненія высоты горизонта воды, которыя оказываютъ вліяніе на распредѣленіе скоростей.

## § 62. ПРИБЛИЖЕННЫЕ МЕТОДЫ.

На основаніи изслѣдованій надъ распредѣленіемъ скоростей по вертикали можно примѣнять приближенныя формулы для опредѣленія средней скорости по вертикали по 1, 2, самое большее 3 измѣреніямъ (см. § 41 ), не прибѣгая къ построенію графика скоростей. Эти приближенные методы отличаются отъ основного незначительнымъ числомъ точекъ, по которымъ графика скоростей не строятъ. Примѣняются методы:

1) трехточечный; наиболѣе точной считается формула (68):

$$v_m = \frac{v_{0.2H} + 2\,v_{0.6H} + v_{0.8H}}{4},$$

требующая измѣренія скоростей на глубинахъ 0.2, 0.6 и 0.8 полной глубины вертикали; кромѣ нея извѣстны формулы:

Кеннингема (Cunningham):

$$v_m = \frac{2\,v_{1/4H} - v_{1/2H} + 2\,v_{3/4H}}{3} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (135)$$

Гаусса:

$$v_m = \frac{5\,v_{0.113H} + 8\,v_{0.5H} + 5\,v_{0.887H}}{18}, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (136)$$

и примѣнявшаяся въ С.Америкѣ:

$$v_m = \frac{v_{пов} + 2\,v_{0,5H} + v_{дн}}{4}\ , \quad\ldots\ldots\ldots \qquad (137)$$

опредѣляющая среднюю скорость по измѣреніямъ около поверхности воды, около дна и на серединѣ вертикали.

2) двуточечный; лучшіе результаты, какъ въ открытомъ руслѣ, такъ и подо льдомъ, даютъ измѣренія на глубинѣ 0,2 и 0,8 полной глубины вертикали, согласно съ формулою (67):

$$v_m = \frac{v_{0.2H} + v_{0.8H}}{2}$$

Изъ другихъ формулъ встрѣчаются:

Кэннингема:

$$v_m = \frac{3\,v_{1/4H} + 4\,v_{3/4H}}{7}\ , \quad\ldots\ldots\ldots \qquad (138)$$

Гаусса:

$$v_m = \frac{v_{0.211H} + v_{0.789H}}{2}\ , \quad\ldots\ldots\ldots \qquad (139)$$

а также указанная въ § 41 формула:

$$v_m = \frac{v_{пов} + 3\,v_{2/3H}}{4}\ , \quad\ldots\ldots\ldots \qquad (69)$$

которая очень рекомендуется многими авторами (Кэннингемъ), однако, по изслѣдованіямъ инж. Моисеенко, даетъ результаты значительно худшіе, чѣмъ (67);

3) одноточечный; наиболѣе рекомендуется одно измѣреніе на глубинѣ 0,6 полной глубины вертикали, согласно (66):

$$v_m = v_{0.6H}$$

Иногда встрѣчаются формулы:

$$v_m = v_{5/9H}\ , \quad\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \qquad (140)$$

$$v_m = v_{0.5H}\ \quad\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \qquad (141)$$

4) къ одноточечному методу относится опредѣленіе средней скорости по вертикали по одной лишь измѣренной поверхностной скорости:

$$v_m = k \cdot v_{пов}\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \qquad (70)$$

однако въ этомъ случаѣ предпочитается вычисленіе расхода нѣсколько другимъ путемъ (см. § 58).

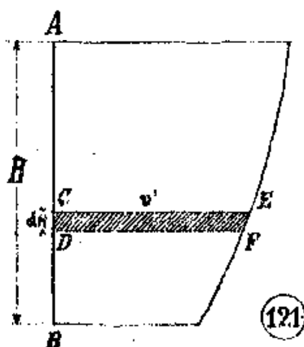
Указанные приближенные методы даютъ возможность быстро опредѣлить среднюю скорость по вертикали; недостатокъ ихъ тотъ, что

нельзя построить графика скоростей и сравнивать скорости при различныхъ горизонтахъ. Эти методы обычно примѣняются на работахъ и рекомендуются многими инструкціями, напр. „Инструкціею для измѣренія расхода воды вертушкою" - Гидрометрической Части Отдѣла Земельныхъ Улучшеній.

## § 63. ИНТЕГРАЦІОННЫЙ МЕТОДЪ.

Недостатки основного метода - продолжительность измѣреній и обиліе вычислительной работы - побудили къ изысканію способовъ болѣе удобныхъ для практики. Тревиранъ(Treviranus) въ 1850 году для измѣренія расхода канала впервые примѣнилъ „интеграціонный" методъ, заключавшійся въ плавномъ передвиженіи вертушки на одной глубинѣ по всей ширинѣ канала; средняя скорость, показанная вертушкою, считалась за среднюю по горизонтали (см. §§ 42 и 55). Такой же способъ для измѣренія средней скорости по вертикали былъ примѣненъ Реви (Revy) при работахъ въ Южной Америкѣ въ 1870-71 гг.; въ это же время интеграціонный методъ былъ подробно разработанъ проф. Гарлахеромъ при работахъ на Эльбѣ и Дунаѣ. Для плавнаго передвиженія вертушки по штангѣ Гарлахеръ сконструировалъ „вертушку-интеграторъ" (см. § 16).

Пусть вертушка равномѣрно поднимается по вертикали AB (черт. 121), глубиною H, отъ дна до поверхности воды, или же опускается въ обратномъ направленіи, въ теченіе времени t и счетчикъ за это время показалъ полное число оборотовъ N. Безконечное малое разстояніе CD = dH по вертикали вертушка пройдетъ во время dt = adH, гдѣ a - скорость вертикальнаго перемѣщенія вертушки; т.к.




$$a = \frac{t}{H}, \text{ то} \qquad \alpha = \frac{t}{H}$$

$dH = \alpha dT$

$$dt = \frac{t}{H} \cdot dH \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (142)$$

за время dt число оборотовъ счетчика будетъ:

$$dN = n'dt \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (143)$$

гдѣ $n'$ — число оборотовъ въ секунду, соотвѣтствующее средней скорости на участкѣ $CD = v'$. Если принять уравненіе вертушки типа

$$v = \alpha + \beta n \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (8)$$

(см. § 23), т.е. считать тарировочную кривую прямой, то:

$$v' = \alpha + \beta n' \; -$$

въ 1 секунду, во время же dt:

$$v'dt = (\alpha + \beta n')\, dt = \alpha dt + \beta n'dt$$

Подставимъ изъ (142) и (143) значенія dt и $n'dt$:

$$\frac{v'.t}{H} . \, dH = \alpha dt + \beta dN$$

По черт. 121 элементъ площади скоростей CDFE = $d\omega$ равенъ:

$$d\omega = v'dH, \text{ слѣд.}$$

$$\frac{t}{H} . \, d\omega = \alpha dt + \beta dN \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (144)$$

Распространяя этотъ выводъ на всю глубину вертикали H (или на площадь $\omega$, время t и число оборотовъ N), имѣемъ:

$$\frac{t}{H} \int_0^H d\omega = \alpha \int_0^t dt + \beta \int_0^N dN \; ;$$

$$\frac{t}{H} . \, \omega = \alpha t + \beta N \, .$$

Средняя скорость по вертикали $v_m = \frac{\omega}{H}$;

$$v_m . t = \alpha t + \beta N \, ,$$

откуда:

$$v_m = \alpha + \beta . \frac{N}{t} \; ;$$

такъ какъ $\frac{N}{t}$ есть среднее число оборотовъ въ секунду за время наблюденія, то $\frac{N}{t} = n$ и

$$v_m = \alpha + \beta n \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (145)$$

Итакъ, принимая тарировочную линію вертушки за прямую, можно опредѣлять среднюю скорость по вертикали однимъ измѣреніемъ, находя ее по среднему за время наблюденія числу оборотовъ въ секунду.

Крупныя достоинства интеграціоннаго метода, при примѣненіи котораго замѣтно сокращаются какъ полевыя работы, такъ и вычислительныя, не могутъ, однако, конкуррировать съ основнымъ методомъ вслѣдствіе цѣлаго ряда недостатковъ, свойственныхъ интеграціонному методу (при работѣ вертушкою), а именно:

1) необходимы усложненія въ конструкціи вертушки:

a) для плавнаго передвиженія по вертикали нуженъ барабанъ или лебедка съ регуляторомъ; необходимъ донный контактъ;

b) для учета числа оборотовъ вертушка должна давать сигналы черезъ каждый оборотъ (въ телефонѣ), иначе, если замыканія тока происходятъ черезъ 25, 50 или 100 оборотовъ, нельзя опредѣлить числа оборотовъ за время наблюденія, т.к. число это можетъ быть произвольное; примѣненіе же механическаго счетчика, какъ указано въ § 10, исключаетъ возможность контроля;

c) вертушка должна имѣть уравненіе типа (145), т.к. только въ этомъ случаѣ правильна идея интеграціоннаго метода; лопасти, сконструированныя проф. Шмидтомъ (§ 9, черт. 9), удовлетворяютъ этому условію ближе всего; для остальныхъ типовъ лопастей (параболическихъ и геликоидальныхъ) необходимо условіе, чтобы величины скоростей по вертикали колебались въ тѣхъ предѣлахъ, въ которыхъ можно тарировочную кривую считать прямою линіею;

d) вертушка не должна имѣть вращенія въ вертикальной плоскости (если она подвѣшена на троссѣ), иначе при передвиженіи вертушки ось ея будетъ наклоняться;

2) результатъ получается неточный:

e) вертушка не учитываетъ донныхъ скоростей, т.к. конструкція ея (муфта, грузъ, лопасти) и предосторожность не даютъ возможности приближать ось вращенія лопастей ко дну; то же относится къ поверхностнымъ скоростямъ, хотя здѣсь безъ замѣтнаго вліянія ось вертушки можетъ быть поднята до самой поверхности воды. Вслѣдствіе того, что не учитываются скорости у дна, результатъ получается преувеличенный; на основаніи 200 наблюденій Гарлахеръ опредѣлилъ значенія поправочнаго коэффиціента $z$ въ зависимости отъ глубины вертикали H и отъ того приближенія ко дну $c$, которое допускаетъ конструкція вертушки, чтобы по измѣренной скорости $v'_m$ вычислять исправленную величину $v_m$:

$$v_m = v'_m \cdot z \qquad (146)$$

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Такъ, при H=0,5 м. | и при c=0,20 м. | z=0,86; | при c=0.15 м. | z=0.89; |
| " 1,0 " | " " | " 0.92; | " " | " 0.94; |
| " 2,0 " | " " | " 0.96; | " " | " 0.97; |
| " 3,0 " | " " | " 0.98; | " " | " 0.98; |
| " 5,0 " | " " | " 0.98; | " " | " 0.99; |
| " 8,0 " | " " | " 0.99; | " " | " 0.99. |

При большихъ глубинахъ z близко къ единицѣ, т.е. $v_m = v'_m$; при малыхъ же интеграціонный методъ и безъ того даетъ мало преимуществъ;

2) скорость оказывается больше при подъемѣ вертушки, чѣмъ при ея опусканіи; объясняется это тѣмъ, что при измѣненіи по высотѣ скорости теченія и скорости вращенія лопастей, лопасти по инерціи нѣсколько сохраняютъ прежнюю скорость; кромѣ того, при опусканіи вертушки сказывается бливость груза и вызываемыя имъ и другими частями восходящія теченія. Для устраненія вліянія этихъ обстоятельствъ рекомендуется производить измѣреніе послѣдовательнымъ подниманіемъ и опусканіемъ вертушки, самое же передвиженіе осуществлять возможно медленнѣе (отъ 0,01 - 0.05 саж.въ сек.) и равномѣрнѣе;

3) экономія во времени, въ связи съ вліяніемъ пульсаціи (см. § 44 и ниже), должна отразиться на конечномъ результатѣ;

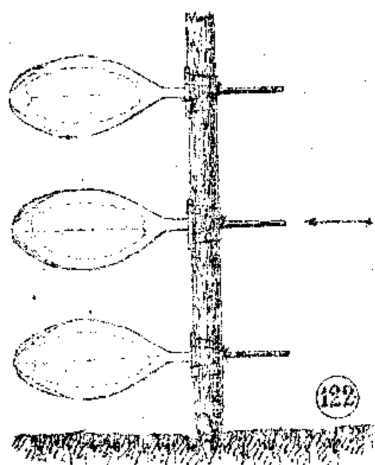
4) научная обработка измѣреній (построеніе изотахъ, графиковъ и т.п.) невозможна.

По точности интеграціонный методъ нѣсколько уступаетъ основному (въ среднемъ 1-3% по изслѣдованіямъ Гарлахера на Дунаѣ и Дунайскомъ каналѣ).

Кромѣ вертушекъ, для измѣренія скоростей интеграціоннымъ методомъ пригоденъ поплавокъ-интеграторъ (см.§ 38), теоретически дающій лучшіе результаты, чѣмъ гидрометрическіе шесты, которые, точно также предназначаются для измѣренія сразу средней скорости по вертикали; при томъ поплавку-интегратору чужды недостатки а-е, присущіе механической интеграціи при посредствѣ вертушки. Трубка Франка (§ 31), которая, по мысли изобрѣтателя, должна опредѣлять сразу среднюю скорость по вертикали, въ дѣйствительности измѣряетъ лишь поверхностную скорость потока вслѣдствіе свободной циркуляціи воды внутри трубки и должна быть признана не достигающей цѣли *).

*) *Инж. А. Дейна. О гидрометрической трубкѣ Франка. Докладъ 1 Сѣверному Мелiоративному Съѣзду въ октябрѣ 1918 г. (не напечатанъ)*

Такимъ образомъ трубки для интеграціоннаго метода не пригодны. Что же касается батометра Глушкова, то хотя этотъ приборъ по своей идеѣ вполнѣ допускаетъ измѣреніе скорости механическою интеграціею, тѣмъ болѣе, что его тарировочная кривая имѣетъ близкая къ прямой (см. § 28) однако при чрезвычайной простотѣ конструкціи батометра было бы нецѣлесообразно усложнять ее сравнительно громоздкими приспособленіями для такого рода работы. На основаніи этого проф. Глушковъ предлагаетъ суммарный методъ измѣренія скоростей цѣлымъ рядомъ батометровъ, прикрѣпляемыхъ къ штангѣ черезъ одинаковые промежутки (черт. 122). Пользуясь тѣмъ, что для различныхъ носковъ одного и того же діаметра тарировочная кривая почти совпадаетъ, можно, продержавъ нѣкоторое время штангу съ батометрами въ рѣкѣ, затѣмъ воду изъ всѣхъ батометровъ слить вмѣстѣ и общій объемъ раздѣлить на число приборовъ; по полученному среднему объему опредѣляется величина скорости, принимаемой за среднюю по вертикали. Этотъ суммарный методъ является упрощеніемъ метода интеграціоннаго; если же воду изъ батометровъ не соединять, а измѣрить отдѣльно притокъ въ каждый приборъ, то суммарный методъ превратится въ основной, причемъ измѣренія будутъ имѣть то достоинство, что произведены въ одинъ и тотъ же промежутокъ времени въ различныхъ точкахъ вертикали. Суммарный методъ можетъ быть примѣненъ точно такъ же для измѣренія одновременно средней скорости всего живого сѣченія, если на рядѣ вертикалей установить штанги съ батометрами, или же однимъ батометромъ собирать воду въ различныхъ точкахъ, равномѣрно распредѣленныхъ по живому сѣченію, въ теченіе одинаковаго промежутка времени, и всю воду измѣрять сразу. Если штангу съ рядомъ батометровъ опустить въ рѣку съ лодки, которая равномѣрно переплываетъ рѣку, то можно тоже опредѣлить среднюю скорость для всего сѣченія (суммарно-интеграціонный методъ).



## § 34. ДЕТАЛЬНЫЙ МЕТОДЪ.

Венгерскій инженеръ Гайошъ (S. Hajós) усовершенствовалъ интеграціонный методъ, снабдивъ его всѣми достоинствами основного. Въ 1898 г. онъ предложилъ новый методъ – „детальный", основанный на автоматической записи оборотовъ вертушки во время ея перемѣщенія по вертикали. Для регистраціи необходимыхъ элементовъ примѣняется хронографъ, отмѣчающій на бумажной лентѣ полусекунды и замыканія тока счетчика вертушки при посредствѣ рейсфедеровъ, прикрѣпленныхъ къ якорямъ электромагнитовъ. Валъ, передвигающій ленту, приводится въ движеніе одновременно съ лебедкой, при посредствѣ которой опускается и поднимается вертушка, такъ что разстояніе, пройденное вертушкой, пропорціонально длинѣ израсходованной ленты (въ масштабѣ 1/5). Лента хронографа разбивается на рядъ участковъ равной длины (0.02 – 0.04 сан.); въ предѣлахъ каждаго участка измѣряется число полусекундъ и оборотовъ вертушки, по которымъ опредѣляется средняя для этого участка скорость. По вычисленнымъ такимъ образомъ скоростямъ строятся графикъ скоростей, причемъ каждая скорость принимается серединѣ того участка вертикали, который соотвѣтствуетъ участку ленты. Вслѣдствіе сравнительно небольшой продолжительности пребыванія вертушки въ различныхъ точкахъ вертикали, пульсація замѣтно отражается на очертаніяхъ такого графика скоростей (ср. CD на черт. 95) и онъ для построенія изотахъ или для изслѣдованія законовъ распредѣленія скоростей по вертикали оказывается непригоднымъ. Средняя скорость по графику скоростей, полученному при детальномъ методѣ, опредѣляется съ такою же точностью, какъ и при основномъ методѣ.

Всестороннее изслѣдованіе достоинствъ и недостатковъ детальнаго метода было исполнено инж. Жуковскимъ въ 1903-4 гг. на Вязовской гидрометрической станціи (на Волгѣ). Жуковскій доказалъ *), что детальный методъ долженъ быть приравненъ къ интеграціонному, отъ котораго онъ отличается лишь нѣсколько большею точностью; практически онъ невыгоденъ тѣмъ, что требуетъ значительной работы по вычисленію и построенію графиковъ скоростей, притомъ безполезныхъ для научной обработки измѣреній. На основаніи своихъ изслѣдованій инж. Жуковскій рекомендуетъ, какъ наилучшій для практики,

---

*) В. И. Жуковскій, см. выше.

методъ механической интеграціи съ примѣненіемъ автоматической записи оборотовъ вертушки. Для введенія поправки за неизмѣренную часть вертикали Жуковскій опредѣлялъ среднюю скорость нижняго участка вертикали (длиною 0,125 саж.) и принималъ для того участка (той же длины), въ которомъ измѣренія не сдѣланы, - такую же величину средней скорости; для опредѣленія средней скорости всей остальной части вертикали $v'$ бралось съ ленты общее число оборотовъ $N$ за время наблюденія $T$:

$$v' = \alpha + \beta \frac{N}{T} = \alpha + \beta n;$$

площадь скоростей измѣренной части вертикали:

$$\omega' = v' (H - 0,125) = (\alpha + \beta n) (H - 0,125),$$

гдѣ $H$ - полная глубина вертикали.

Если $n'$ - число оборотовъ въ сек. на нижнемъ участкѣ вертикали съ высотою 0,125 саж., то площадь скоростей этого участка:

$$\omega'' = (\alpha + \beta n') \, 0,125.$$

и площадь скоростей всей вертикали:

$$\omega = \omega' + \omega'' = (\alpha + \beta n) H - 0,125 (n - n') \beta .$$

Средняя скорость по вертикали $v_m$ будетъ равна:

$$v_m = \frac{\omega}{H} = v' - \frac{0,125\beta}{H}(n - n') .$$

Этотъ методъ Жуковскій назвалъ <u>детально-интеграціоннымъ</u>. Онъ не устраняетъ крупнаго недостатка обоихъ описанныхъ выше методовъ: сложности приспособленій, необходимыхъ для работы, въ особенности такого чувствительнаго аппарата, какъ хронографъ.

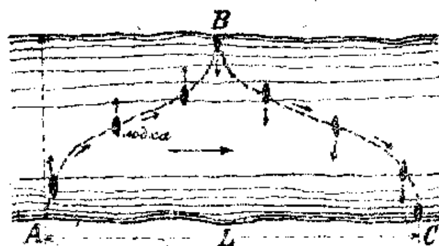
Детальный методъ пригоденъ исключительно для измѣреній вертушкой.

## § 65. МЕТОДЫ ИЗМѢРЕНІЯ ПОВЕРХНОСТНЫХЪ СКОРОСТЕЙ.

Въ виду важности для русскихъ условій простыхъ и дешевыхъ измѣреній поверхностныхъ скоростей, особо разберемъ методы этихъ измѣреній по аналогіи съ методами измѣренія скоростей по вертикалямъ. На практикѣ почти исключительно примѣняется методъ основной, который отличается лишь тѣмъ отъ описаннаго въ § 61, что точки измѣренія распредѣляются черезъ неравные промежутки по ширинѣ

рѣки вслѣдствіе того, что поверхностные поплавки движутся по полупроизвольной траекторіи. При примѣненіи другихъ приборовъ, сконструированныхъ для измѣренія поверхностной скорости (плавучая вертушка Отта (§ 17), трубка на поплавкахъ Франка, различные динамометры) произвольность можетъ быть устранена. Въ этомъ случаѣ цѣлесообразно придерживаться болѣе частаго распредѣленія точекъ у береговъ и пріурочивать точки къ замѣтнымъ перегибамъ профиля дна. Упрощеніемъ этого основного метода является измѣреніе одной лишь наибольшей поверхностной скорости (ср. §57); этотъ методъ особенно часто примѣняется на небольшихъ ручьяхъ.

Интеграціонный методъ можетъ быть примѣненъ для измѣренія сразу средней поверхностной скорости всего потока, если равномѣрно передвигать поперекъ его одинъ изъ приборовъ (вертушку, батометръ) и по показанію прибора вычислить среднюю величину. Примѣненіе поверхностнаго поплавка-лодки, равномѣрно переплывающей рѣку, указано въ § 38. Непремѣннымъ условіемъ интеграціоннаго измѣренія средней поверхностной скорости въ этомъ случаѣ является постоянство направленія движенія лодки (достигается оріентированіемъ по компасу) и равномѣрность хода, насколько это возможно. Слѣдуя закону движенія поплавка-интегратора, лодка пройдетъ путь ABC (черт. 123) и будетъ при этомъ снесена на разстояніе AC = L, измѣряемое по берегу. Средняя скорость по всей ширинѣ рѣки будетъ вычисляться по формулѣ



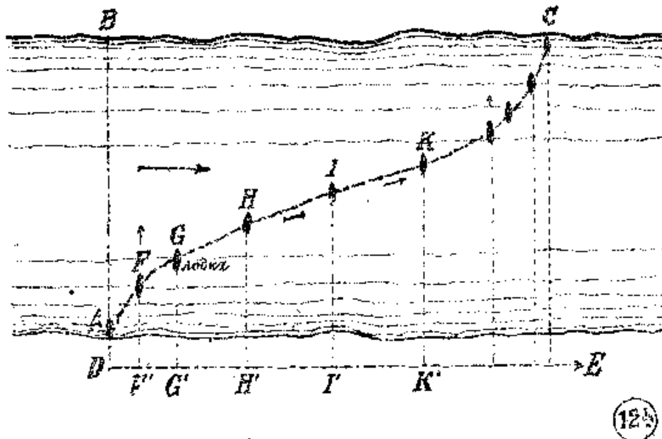

(123)

$$(v_s)_m = \frac{L}{t_1 + t_2} \dots \dots (148)$$

по аналогіи съ формулами (35) и (45), причемъ $t_1$ и $t_2$ есть продолжительность прямого и обратнаго движенія лодки.

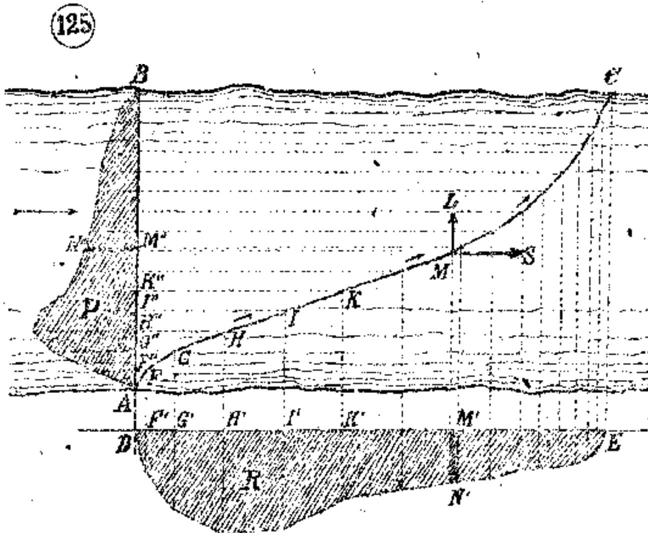
Детальный методъ также можетъ быть приспособленъ для этого случая, если при помощи хронографа записывать обороты вертушки, равномѣрно передвигаемой около поверхности воды поперекъ рѣки; по этимъ даннымъ строится детальная эпюра поверхностныхъ скоростей, служащая для опредѣленія расхода.

При интеграціонномъ измѣреніи поверхностной скорости лодкою, переплывающею рѣку, можно примѣнить способъ, напоминающій детальный методъ. Какъ и въ томъ случаѣ, лодка придерживается по буссоли на-




чальнаго направленія AB (черт. 124). Рядъ положеній лодки черезъ нѣкоторые промежутки по времени (точки F,G,H,I,K...), проектируется при помощи эккера на линію DE, разбиваемую на берегу перпендикулярно къ избранному поперечному сѣченію AB. По разстояніямъ проекцій F', G', H' и т.д. отъ точки D и соотвѣтств. отсчетамъ по секундомѣру $t_1$, $t_2$, $t_3$ и т.д. могутъ быть вычислены значенія скоростей въ различныхъ точкахъ по ширинѣ рѣки:

$$v = \frac{s_k - s_{k-1}}{t_k - t_{k-1}}, \qquad (149)$$




служащія для построенія эпюры поверхностныхъ скоростей.

Проф. Глушковъ *) предлагаетъ одновременно съ лодки дѣлать промѣры глубины и для графическаго опредѣленія расхода строить „боковой профиль", откладывая въ точкахъ F', G', H' и т.д. глубины, измѣренныя въ точкахъ F,G,H..., при-

---

*) См. ...кціяхъ въ И.С.-П. Академіи.

чемъ предполагается, что такія же глубины имѣютъ мѣсто на поперечномъ сѣченіи AB въ соотв. точкахъ P", Q", N"... (черт. 125).

Если лодка движется съ постоянной скоростью $a$, то въ точкѣ M въ промежутокъ времени $dt$ она пройдетъ по направленію ML разстояніе:

$$dl = adt \text{ , } \ldots \ldots \ldots \ldots (150)$$

въ то же время теченіе снесетъ лодку внизъ по теченію на:

$$ds = v_n dt \text{ , } \ldots \ldots \ldots \ldots (151)$$

гдѣ $v_n$ - поверхностная скорость въ точкѣ M.

Элементъ площади живого сѣченія AN"BM", соотвѣтствующій продвиженію $dl$, равенъ

$$dP = hdl = hadt \text{ , } \ldots \ldots \ldots \ldots (152)$$

а элементъ площади бокового профиля DM'EM':

$$dR = hds = hv_n dt \text{ , } \ldots \ldots \ldots \ldots (153)$$

гдѣ h - глубина въ точкѣ M.

Подставимъ изъ (152) значеніе $dt$ въ выраженіе (153):

$$dR = \frac{v_n}{a} \cdot dP \ldots \ldots \ldots \ldots (154)$$

т.е. элементы площадей пропорціональны скоростямъ $a$ и $v_n$.
Площадь бокового профиля R равна:

$$R = \int_0^s dR = \frac{1}{a}\int_0^l v_n dP \ldots \ldots \ldots \ldots (155)$$

Интегралъ $\int_0^l v_n dP$ представляетъ изъ себя фиктивный расходъ $Q'$ (см. § 58), вычисленный по поверхностнымъ скоростямъ $v_n$ вмѣсто среднихъ по вертикалямъ $v_m$. Дѣйствительный расходъ равенъ

$$Q = K' \cdot Q' \ldots \ldots \ldots \ldots (134)$$

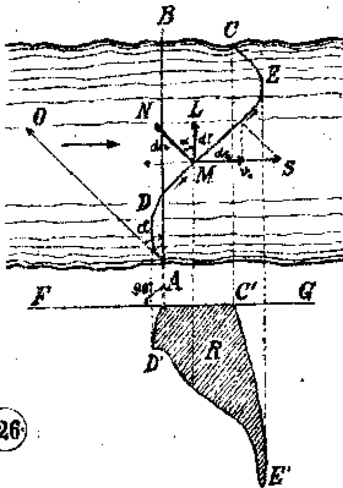
гдѣ K'-переходный коэффиціентъ, близкій къ 0,9.

$$R = \frac{1}{a} Q' = \frac{1}{a K'} \cdot Q \text{ .}$$

$$Q = a.K'.R \ldots \ldots \ldots \ldots (156)$$

Слѣдовательно, для опредѣленія расхода надо площадь бокового про-

филя R помножить на скорость a, съ которою лодка переплываетъ рѣку, и, кромѣ того, ввести переходный коэффиціентъ K'; послѣднее можно замѣнить примѣненіемъ „подводнаго паруса", аналогично щиту Андерсона (см. § 33), чтобы лодка получала сносъ, пропорціональный средней скорости по всей глубинѣ. Скорость a опредѣляется по ширинѣ рѣки l и времени хода лодки t: $a = \frac{l}{t}$. Чтобы на результатъ не оказывало вліянія различие условій на направленіи AB и траекторіи лодки AC, проф. Глушковъ рекомендуетъ направленіе AO выбирать подъ такимъ угломъ α къ направленію AB, чтобы лодка, пройдя по кривой ADEC, достигла противоположнаго берега въ точкѣ C, лежащей возможно ближе отъ B (черт. 126). Положенія лодки проектируются на прямую FG, перпендикулярную къ направленію AB, и боковой профиль въ этомъ случаѣ будетъ имѣть видъ кривой AD'E'C'. Пусть скорость лодки по направленію AB будетъ a (ширина рѣки l, дѣленная на время хода t); тогда дѣйствительная ея скорость должна быть $b = \frac{a}{\cos\alpha}$. Въ точкѣ M лодка въ промежутокъ времени dt пройдетъ:




по направленію MN: $dn = \frac{a}{\cos\alpha} \cdot dt$,

ML: $dl = a\,dt$,

MS: $ds = (v_n - a\,tg\alpha)\,dt$,

гдѣ $v_n$ – поверхностная скорость воды въ точкѣ M, $a\,tg\alpha$ – скорость лодки въ направленіи, обратномъ MS. Выражая элементъ площади бокового профиля R въ зависимости отъ элемента площади живого сѣченія, аналогично (154), получимъ:

$$dR = \frac{v_n - a\,tg\alpha}{a} \cdot dP \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (157)$$

или

$$dR = \frac{v_n}{a} \cdot dP - tg\alpha \cdot dP ,$$

и площадь бокового профиля:

$$R = \int_0^s dR = \frac{1}{a}\int_0^l v_n dP - tg\alpha \int_0^l dP \ldots\ldots\ldots (158)$$

Въ этомъ выраженіи первый интегралъ аналогиченъ (155), второй же представляетъ площадь живого сѣченія P.

$$R = \frac{1}{aK'} \cdot Q - P.tg\alpha ,$$

$$Q = (R + Ptg\alpha)\, aK' , \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (159)$$

или, если измѣрить скорость лодки по направленію AO:

$b = \frac{a}{\cos\alpha}$, то:

$$Q = (R + Ptg\alpha)\, bK'\cos\alpha \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (160)$$

---

Исходя изъ сопоставленія изложенныхъ въ настоящей главѣ методовъ измѣренія скоростей по вертикалямъ и по поверхности потока, въ слѣдующихъ главахъ проведено такое же подраздѣленіе, причемъ подъ измѣреніями по вертикалямъ подразумѣваются преимущественно измѣренія различными типами вертушекъ и батометрами, въ отличіе отъ измѣреній поверхностныхъ скоростей, производимыхъ обычно поверхностными поплавками.

## ГЛАВА VI. ВЫБОРЪ И ОБОРУДОВАНІЕ МѢСТА ДЛЯ ИЗМѢРЕНІЯ СКОРОСТЕЙ.

### § 55. ТРЕБОВАНІЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЯ КЪ МѢСТУ.

Мѣсто для гидрометрическихъ измѣреній выбирается, прежде всего, въ зависимости отъ цѣли работъ.

При общихъ изслѣдованіяхъ значительныхъ участковъ рѣкъ, какъ путей сообщенія, водопріемниковъ или источниковъ воды для меліораціи, запасовъ „бѣлаго угля" и т.п., опредѣленіе расхода пріурочивается къ тѣмъ мѣстамъ по системѣ рѣки, гдѣ значительно измѣняется ея режимъ: выше и ниже впаденія притоковъ, вліяющихъ на величину расхода, въ мѣстахъ значительнаго измѣненія продольнаго

уклона и характера рѣки. Если же гидрометрическія изслѣдованія непосредственно связаны съ проектированіемъ мостовъ и гидротехническихъ сооруженій, то мѣсто ихъ обусловливается самымъ заданіемъ.

Такъ какъ законы гидравлики, на которыхъ основаны методы опредѣленія расхода въ открытыхъ руслахъ, предполагаютъ установившееся равномѣрное движеніе параллельныхъ струй воды, а условія эти въ природѣ не могутъ быть соблюдены, то приходится выбирать для гидрометрическихъ изслѣдованій по крайней мѣрѣ такое мѣсто, въ которомъ можно предполагать наибольшее возможное соотвѣтствіе природныхъ условій съ идеальными требованіями. Особенное значеніе это имѣетъ при выборѣ мѣста на намѣченномъ участкѣ по системѣ рѣки: необходимо знакомство съ режимомъ рѣки, а это возможно только послѣ систематическихъ изслѣдованій; нерѣдки случаи, когда приходится переносить на другое мѣсто постоянныя гидрометрическія станціи вслѣдствіе неудачнаго первоначальнаго выбора. Соображенія экономическія (стоимость оборудованія) и территоріальныя (удобство сообщенія, близость поселеній) также играютъ извѣстную роль при выборѣ мѣста для измѣреній.

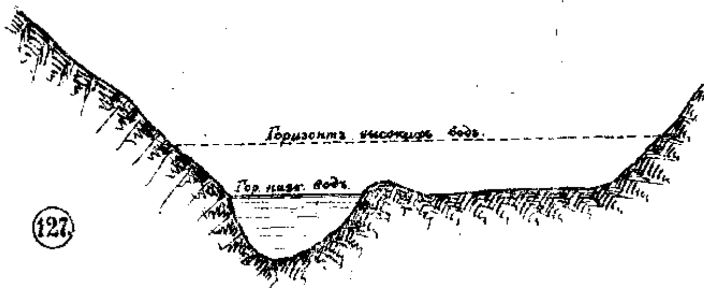
## § 67. ЭЛЕМЕНТЫ РѢЧНОГО РУСЛА.

Крайне необходимымъ при выборѣ мѣста для гидрометрическихъ измѣреній является знакомство съ элементами рѣчного русла и зависимостью ихъ отъ различныхъ условій. Ученіе объ этихъ элементахъ - морфологія рѣчного русла - входитъ, какъ часть потамологіи, въ задачу физической географіи. *)

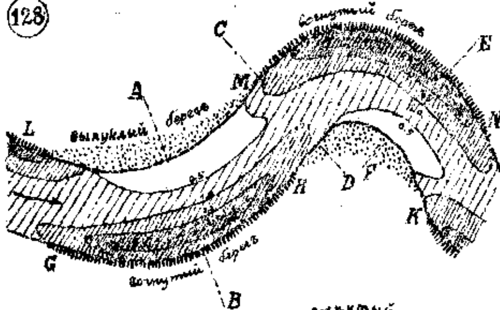
Характеръ рѣки зависитъ отъ условій топографическихъ (продольный уклонъ), геологическихъ (порода, въ которой проложено русло) и климатическихъ (питаніе рѣки). Въ плотныхъ породахъ рѣка разрабатываетъ свое русло въ глубину, образуя крутые и высокіе берега (ущелья, каньоны), въ рыхлыхъ - въ ширину, способствуя образованію широкой долины (поймы), въ которой русло извивается многочисленными „меандрами" или „серпентинами" по дну, сложенному изъ принесеннаго рѣкою матеріала; здѣсь нерѣдко образуются отмели,

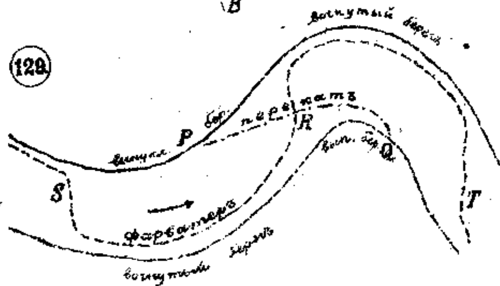
---

*) *Напр. Курсъ физической географіи, проф. И.И.Броунова, §§ 106-110, 114-119, 124-129 (2-ое изд., 1917 г.).*




островки (осередки), рукава, староречья (старицы). Русло рѣки, извивающейся по поймѣ, вмѣщаетъ въ себя воду въ межень (во время низкаго положенія горизонта воды), во время же половодья ложемъ рѣки служитъ самая пойма; при этомъ существенно измѣняется характеръ рѣки и нарушается закономѣрность въ зависимости высоты горизонта и расхода воды; поперечный профиль такого русла („двойной профиль") представленъ на черт. 127.




Очертанія поперечнаго профиля русла находятся въ зависимости отъ расположенія рѣки въ планѣ. Если рельефъ дна рѣки изобразить на планѣ линіями равныхъ глубинъ — изобатами (обратными горизонталями), то нетрудно по такому плану подмѣтить вліяніе закругленій на распредѣленіе глубинъ (законъ Фарга): наибольшая глубина имѣетъ мѣсто у вогнутаго берега (черт. 128, CE и MN), у выпуклаго же (LM или HK) отлагаются наносы и образуются отмели. Въ томъ мѣстѣ, гдѣ [illegible] мѣняетъ свое направленіе, образуется перекатъ, который представляетъ изъ себя

подводный хребетъ, соединяющій два противоположныхъ выпуклыхъ берега (черт. 129, PQ). Перекаты сильно затрудняютъ судоходство, т.к. являются наиболѣе мелкими участками фарватера SRT, т.е. линіи, по которой направляются суда. *) Поперечный профиль русла рѣки въ предѣлахъ переката имѣетъ характерный перегибъ (черт. 120, CD) въ отличіе отъ профилей на закругленіяхъ (AB, EF) и на прямыхъ участкахъ – плесахъ (UW).




## § 68. ВЫБОРЪ УЧАСТКА.

Въ связи съ требованіями, чтобы условія движенія воды наиболѣе приближались къ идеальнымъ, выборъ мѣста для производства измѣреній расходовъ зависитъ отъ цѣлаго ряда предположеній:

1) Параллельность струй. Какъ было указано въ § 43, при примѣненіи многихъ приборовъ приходится считаться съ ошибками, происходящими отъ непараллельности струй. Наиболѣе близкое къ параллельному направленіе струй можно предполагать на прямыхъ участкахъ-плесахъ съ правильнымъ русломъ и однообразнымъ профилемъ съ близкими къ параболѣ очертаніями. Слѣдуетъ избѣгать участковъ, на которыхъ образуются отмели, косы, осередки и т.д., вызывающіе отклоненіе струй и водовороты. Если нельзя найти прямого участка, можно допустить небольшое искривленіе.

---

*) *Линія эта проводится черезъ тѣ точки по ширинѣ рѣки, гдѣ имѣется наибольшая въ каждомъ поперечномъ сѣченіи глубина. Ее надо отличать отъ геометрической оси, проходящей по серединѣ рѣки, и динамической оси – стрежня (см. сноску на стр. 77).*

2. Равномѣрность движенія. Непремѣннымъ условіемъ является отсутствіе подпора. Изслѣдованіе потока внизъ по теченію должно установить тѣ естественныя или искусственныя преграды, которыя вызываютъ подпоръ; сюда относятся плотины, мосты, пороги, перекаты, а также горизонтъ воды въ водопріемникѣ - рѣкѣ, озерѣ или морѣ. Хотя каждое отдѣльное измѣреніе расхода и можетъ быть сдѣлано въ предѣлахъ распространенія подпора, но при установленіи зависимости между высотой горизонта воды и расходомъ существованіе подпора исказитъ результаты, т.к. вліяніе его различно при измѣненіяхъ горизонта, въ особенности, если высота подпора также не остается постоянной. Поэтому рекомендуется выбирать мѣсто ниже перекатовъ, пороговъ и т.п.; при производствѣ измѣреній съ существующаго моста лучше опускать приборъ съ низового (по теченію) края моста.

Съ той же цѣлью, т.е. чтобы можно было предполагать отсутствіе вліянія постороннихъ факторовъ на зависимость расхода отъ высоты горизонта, предъявляются еще слѣдующія требованія:

3. Устойчивость русла. Въ процессѣ разработки своего русла рѣки значительно измѣняютъ не только направленіе отдѣльныхъ участковъ, но и очертанія въ планѣ въ большихъ предѣлахъ. Замѣчено, напр. что извилины медленно, но опредѣленно, передвигаются внизъ по теченію. Измѣненія русла особенно ясно подтверждаются существованіемъ старицъ. Кромѣ этого у рѣкъ, протекающихъ по рыхлымъ породамъ, постоянно измѣняется рельефъ дна (рѣки съ „подвижнымъ" дномъ, сложеннымъ изъ рѣчныхъ наносовъ). Эти обстоятельства могутъ быть предусмотрѣны у рѣкъ съ болѣе устойчивымъ русломъ, въ другихъ же случаяхъ приходится считаться съ ними и прибѣгать къ соотвѣтствующимъ исправленіямъ результатовъ. На рѣкахъ съ „блуждающимъ" русломъ приходится для каждаго измѣренія расхода выбирать новое мѣсто.

4. Однообразіе условій при различныхъ положеніяхъ высоты горизонта. Направленіе струй должно оставаться постояннымъ при колебаніяхъ горизонта; для этого прежде всего необходимо, чтобы русло вмѣщало въ себя воду при самыхъ высокихъ положеніяхъ поверхности воды, иначе, при существованіи „двойного" профиля (черт. 127), сильно затрудняются измѣренія. Чтобы оставался постояннымъ характеръ русла, оно въ предѣлахъ колебаній горизонта не должно быть покрыто лѣсомъ или кустарникомъ. Въ исключительныхъ случаяхъ до-

пускается измѣреніе расходовъ при высокихъ горизонтахъ на другомъ участкѣ, если нельзя найти достаточно удовлетворительнаго мѣста, одинаково пригоднаго для разныхъ условій.

5. Отсутствіе вліянія вѣтра, что важно какъ для измѣренія поверхностныхъ скоростей, такъ и водомѣрныхъ наблюденій. Слѣдуетъ избѣгать длинныхъ и широкихъ прямыхъ участковъ рѣки, расположенныхъ по направленію господствующихъ вѣтровъ.

Кромѣ того, если гидрометрическія изслѣдованія имѣютъ цѣлью изученіе режима рѣки, должно быть соблюдено еще одно условіе:

6. Типичность участка въ отношеніи среднихъ для нѣкотораго протяженія характера рѣки и продольнаго уклона.

## § 69. ВЫБОРЪ СТВОРНАГО СѢЧЕНІЯ.

То поперечное сѣченіе, расходъ черезъ которое измѣряется, называется створнымъ сѣченіемъ или, проще, створомъ. Для достиженія нѣкоторыхъ удобствъ при измѣреніи и для возможнаго увеличенія ихъ точности, положеніе створнаго сѣченія на избранномъ участкѣ намѣчается на основаніи ряда практическихъ соображеній:

На глубокихъ и быстрыхъ рѣкахъ створъ рекомендуется намѣчать на участкахъ широкихъ и мелкихъ, т.к. этимъ облегчаются измѣренія; наоборотъ, на рѣкахъ съ незначительною скоростью теченія лучше створъ относить къ наиболѣе узкому мѣсту, гдѣ скорость замѣтнѣе и глубины больше.

Если эти обстоятельства не играютъ роли, то створъ намѣчается посреди избраннаго участка, или, лучше, нѣсколько ниже по теченію, примѣрно такъ, чтобы раздѣлять участокъ въ отношеніи 2 къ 1.

При существованіи моста, можно, съ цѣлью упрощенія оборудованія, приноровить створъ къ нему, и притомъ, какъ было указано, къ низовому его краю.

За выборомъ мѣста для створа слѣдуетъ осмотръ дна и искусственная его расчистка, если будутъ найдены крупные камни, или и водяныя растенія. Особенно нуждается въ расчисткѣ русло горныхъ рѣкъ, сложенное изъ хряща: значительная часть воды можетъ протечь между камнями безъ учета.

## § 70. НАПРАВЛЕНІЕ СТВОРНАГО СѢЧЕНІЯ.

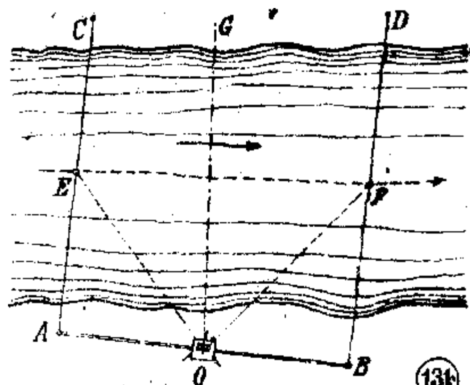
При примѣненіи для измѣренія скоростей такихъ приборовъ, которые измѣряютъ дѣйствительную скорость (ср. § 43), чрезвычайно важнымъ является установленіе такого направленія створнаго сѣченія, которое было бы перпендикулярно направленію струй. Иначе, если расходъ черезъ элементарную площадку $d\omega$, перпендикулярную къ направленію скорости $v'$ былъ бы

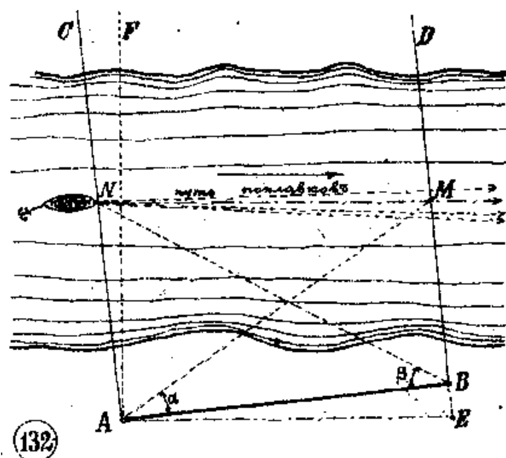
$$dQ = v'd\omega,$$

то при косомъ положеніи створа расходъ

$$dQ = \frac{v'd\omega}{\cos\alpha}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (161)$$

гдѣ $\alpha$ - уголъ отклоненія створа отъ перпендикулярнаго къ струямъ, окажется преувеличеннымъ; нормальному направленію створа должна соотвѣтствовать наименьшая площадь живого сѣченія, т.к. при $\alpha = 0$ имѣетъ наименьшее значеніе $\frac{d\omega}{\cos\alpha}$, а слѣд. и вся площадь живого сѣченія. На практикѣ, однако, установленіе направленія створа, которому соотвѣтствовала бы наименьшая площадь живого сѣченія (или, при правильномъ руслѣ, наименьшая ширина поверхности воды) оказывается затруднительнымъ, т.к. даже при отклоненіи направленія на 10° площадь увеличится всего на 2%, а на-глазъ можно намѣтить направленіе съ точностью до 2-5°. Въ виду этого прибѣгаютъ къ другому методу выбора направленія створа. Пускаютъ нѣсколько поплавковъ (поверхностныхъ, или лучше глубинныхъ), отмѣчаютъ ихъ траекторіи, и перпендикулярно къ ней оріентируютъ створъ. Для этого намѣчаютъ два произвольныхъ параллельныхъ створа АС и BD. На серединѣ линіи АВ въ точкѣ О устанавливается мензула, на которой засѣкаются положенія поплавка въ точкахъ Е и F въ моменты прохожденія его черезъ створы АС и BD. Перпендикулярно направле-






нію EF, проведенному на мензул намѣчается направленіе OG, которое и переносится на мѣстно[сть].

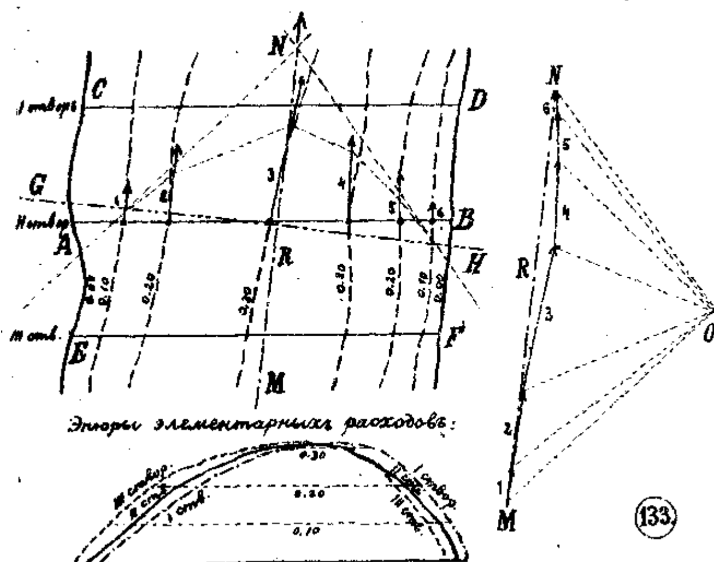
При работахъ инж. Соколова на р. Зеѣ примѣнялся сходный методъ выбора направленія створа при посредствѣ угломѣрнаго инструмента. Въ одномъ изъ пре[дв]арительно намѣченныхъ параллельныхъ створовъ, примѣрно посреди рѣки (въ точкѣ N, черт. 132) устанавливалась лодка, съ которой выпускался рядъ поплавковъ. Точки пересѣченія поплавками створа BD засѣкались пантометромъ изъ точки A и вычислялось среднее значеніе угла α, образованнаго лучомъ AM съ „базой" AB, перпендикулярной створамъ AC и BD. Положеніе лодки N засѣкалось изъ точки B. Это давало возможность намѣтить направленіе AE, параллельное NM, построеніемъ отрѣзка BE на направленіи створа BD:

$$BE = AN - MB = AB.tg\beta - AB.tg\alpha = AB\,(tg\beta - tg\alpha) \quad . \; . \; . \; . \; (162$$

Перпендикулярно къ AE разбивалось створное сѣченіе AF.

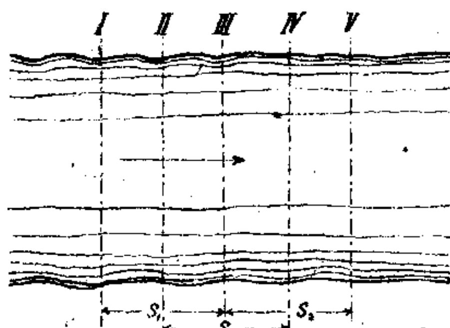
Оба эти способа, достаточно простые, имѣютъ тотъ недостатокъ, что учитывается направленіе только одной изъ струй, вообще случайной. Чтобы принять во вниманіе направленія струй въ различныхъ точкахъ живого сѣченія, и притомъ пропорціонально скоростямъ, [п]роф. Жуковскій предложилъ способъ, основанный на проведеніи „линій равныхъ элементарныхъ расходовъ".

На трехъ сосѣднихъ створахъ производятся измѣренія скоростей (вертушкою) и вычерчиваются эпюры элементарныхъ расходовъ; на планъ переносятся тѣ точки по ширинѣ рѣки, въ которыхъ величина элементарнаго расхода до вертикали равна послѣдовательно 0.1, 0.2, 0.3 и т.д. сек. и одноименныя точки, соединяются плавными кривыми, подобно изобатамъ. Расходъ разбивается на рядъ частичныхъ расходовъ, каждый изъ которыхъ вычисляется, какъ произведеніе элементарнаго расхода на половину прилегающихъ участковъ по ширинѣ рѣки. Частичные расходы откладываются въ видѣ векторовъ на направленіяхъ струй въ среднемъ створѣ - на касательныхъ къ „линіямъ равныхъ элементарныхъ расходовъ" (отрѣзки 1,2,3...5 на черт.133)




По величинамъ и направленіямъ частичныхъ расходовъ находится при помощи построенія веревочнаго многоугольника направленіе равнодѣйствующей MN, перпендикулярно къ которой оріентируется окончательно створъ.

Имѣя въ виду сложность такого метода, инж. Моисеенко предлагаетъ ограничиться для проведенія „линій равныхъ элементарныхъ расходовъ" измѣреніемъ однихъ лишь поверхностныхъ скоростей, т.е. оперировать съ фиктивными элементарными расходами. Съ этой цѣлью необходимо разбить 5 параллельныхъ створовъ (черт. 134), промѣрить три среднихъ и затѣмъ отмѣчать мѣста пересѣченія поплавковъ съ этими тремя створами и время хода между I и III, II и IV, III и V створами; этихъ данныхъ достаточно для рѣшенія задачи примѣнительно къ методу Жуковскаго. Чаще всего установленіе направленія створа важно при поплавковыхъ наблюденіяхъ; въ этомъ случаѣ послѣднее упрощеніе очень умѣстно. На небольшихъ рѣкахъ, гдѣ есть возможность устанавливать или подвѣшивать вертушку на штангѣ съ положеніемъ оси перпендикулярнымъ къ плоскости живого сѣченія, направленіе створнаго сѣченія намѣчается на-глазъ или по плану рѣки съ нанесенными на немъ изобатами - перпендикулярно общему направленію послѣднихъ.




(134)

Необходимо считаться съ тѣмъ, что при различныхъ положеніяхъ горизонта, особенно у рѣкъ съ неустойчивымъ русломъ, направленія струй могутъ замѣтно измѣняться. Даже при очень правильномъ и постоянномъ руслѣ слѣдовало бы опредѣлять направленіе створнаго сѣченія хотя бы для трехъ состояній рѣки: въ межень, во время половодья и зимой, подъ ледянымъ покровомъ.

## § 71. ОБОЗНАЧЕНІЕ СТВОРНАГО СѢЧЕНІЯ.

Для обозначенія на мѣстѣ створнаго сѣченія примѣняютъ различные способы въ зависимости отъ ширины рѣки, скорости теченія и характера береговъ.

Какъ общее правило, створъ, предназначенный для продолжительныхъ изслѣдованій, закрѣпляется въ горизонтальной плоскости двумя прочными реперами, которые въ то же время служатъ реперами высотными. Они устанавливаются на обоихъ берегахъ въ мѣстѣ, никогда не затопляемомъ и достаточно прочномъ, въ плоскости створнаго сѣченія. Отъ репера, расположеннаго на лѣвомъ берегу, отсчитываются разстоянія до тѣхъ точекъ створа, въ которыхъ производятся измѣренія.

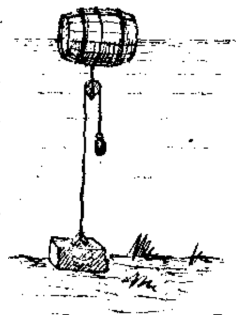
На небольшихъ ручьяхъ въ плоскости створа перекидывается поперекъ русла мостикъ, служащій какъ для измѣренія горизонтальныхъ разстояній, такъ и для установки гидрометрическихъ приборовъ. На рѣкахъ шириною до 100-150 саж., рѣдко до 300 саж., въ створѣ натягивается канатъ (пеньковый, діаметромъ 10-20 мм., или стальной троссъ діаметромъ 2-7 мм. изъ нѣсколькихъ десятковъ проволокъ), который размѣчается черезъ опредѣленные промежутки. Канатъ натягивается при помощи вертикальнаго ворота (черт.135) или лебедки, такъ, чтобы возможно уменьшить величину провѣса. На широкихъ рѣкахъ приходится канатъ поддерживать или промежуточными лодками, устанавливаемыми въ створѣ на якорѣ черезъ 50-100 саж., или поплавками („буйками"), въ видѣ, напр. пустой бочки, прикрѣпленной къ якорю или грузу на блокѣ (черт.136), чтобы при измѣненіяхъ горизонта поплавокъ не измѣнялъ мѣста и не тонулъ; наконецъ, на рѣкахъ мелкихъ и съ тихимъ теченіемъ въ качествѣ промежуточныхъ опоръ для

каната могутъ забиваться рогатки изъ 2 жердей *) (черт. 137).

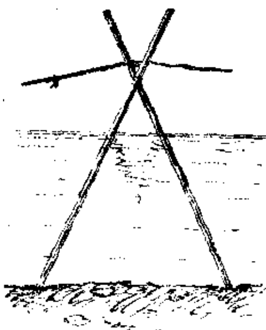
На судоходныхъ рѣкахъ для пропуска судовъ и плотовъ канатъ приходится опускать на дно. На р. Чусовой, въ виду особенностей мѣстнаго сплава, для пропуска барокъ канатъ подымался при посредствѣ лебедокъ изъ положенія CD (черт. 138) на высоту столбовъ AB. Чтобы избѣжать этихъ затрудненій, на судоходныхъ рѣкахъ отдается предпочтеніе обозначенію створа при помощи ряда поплавковъ („буйковъ" или „бакеновъ", черт. 136), устанавливаемыхъ въ створѣ, безъ натягиванія каната. Для оріентированія гидрометрическихъ приборовъ во время измѣренія на берегахъ въ плоскости створа устанавливаются вѣхи.



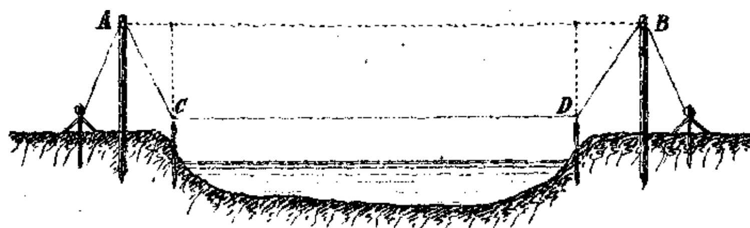
135



136



137



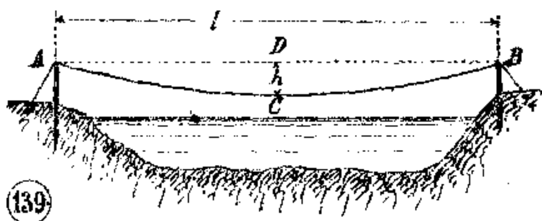

138

---

*) Этотъ способъ примѣнялся при работахъ студентовъ Межевого Института на р. Москвѣ у с. Павшина въ 1916 году.

## § 72. ОБОЗНАЧЕНІЕ ВЕРТИКАЛЕЙ.

Когда въ створномъ сѣченіи перекинутъ мостикъ, то точки промѣровъ глубинъ и измѣренія скоростей отмѣчаются непосредственно по рулеткѣ или лентѣ. При пользованіи канатомъ разстоянія до вертикалей опредѣляются по мѣткамъ (узелкамъ, цвѣтнымъ лоскуткамъ, кожанымъ или металлическимъ „маркамъ"), которыя дѣлаются на канатѣ или до его натягиванія (стальной троссъ) или послѣ, когда онъ разтянется (пеньковый канатъ). Въ первомъ случаѣ разстоянія между мѣтками надо брать нѣсколько меньше, съ запасомъ на удлиненіе въ $\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{4}$%, во второмъ - измѣрять разстоянія при помощи рулетки; если канатъ даетъ значительный провѣсъ, то по величинѣ стрѣлки провѣса h можно опредѣлить ошибку въ измѣреніи и исправить результаты. Если принять кривую ACB (черт.139) для упрощенія за дугу круга (а не цѣпную линію), то разность длины дуги ACB и хорды AB составитъ въ зависимости отъ величины h = CD, измѣряемой вблизи середины рѣки:




$$\Delta l = \frac{8\ h^2}{3\ l} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (163)$$

Если требуется измѣрять разстоянія съ точностью n%, то допускаемая величина провѣса будетъ:

$$\frac{n}{100}\ l = \frac{8\ h^2}{3\ l},$$

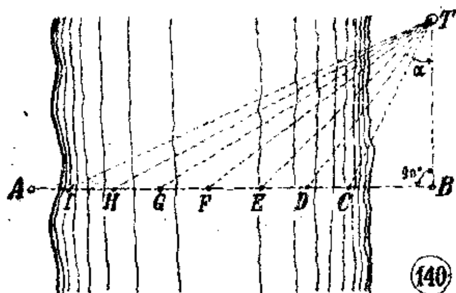
$$h = 0{,}06\ l\ \sqrt{n} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (164)$$

Такъ, при точности въ 0,1% и ширинѣ рѣки l = 100 саж., h = 1.9 саж.

При повторныхъ натягиваніяхъ каната мѣтки всегда устанавливаются на одномъ и томъ же мѣстѣ.

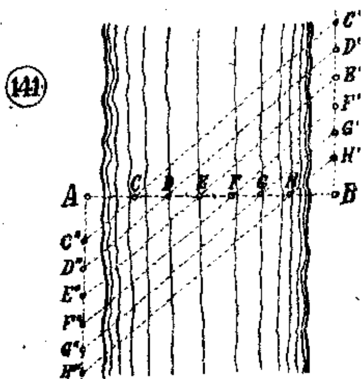
Когда створъ обозначенъ „буйками" или просто вѣхами на обоихъ берегахъ, то опредѣленіе положенія вертикалей дѣлается при посредствѣ угломѣрнаго инструмента T (черт.140) по углу α и разстоянію TB = a:

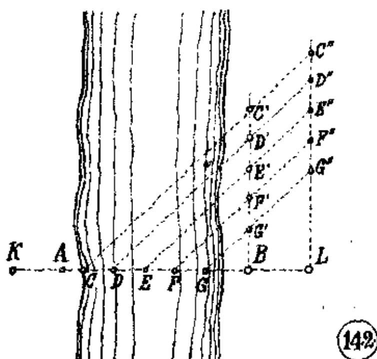
$$BC = a\ .\ tg\alpha\ .$$




Значенія угла α можно вычислить заранѣе для различныхъ вертикалей и находить положеніе точекъ C,D,E на пересѣченіи створнаго сѣченія визирнымъ лучомъ. Проще такое опредѣленіе дѣлать графически, на мензулѣ.

Вмѣсто угломѣрныхъ инструментовъ прибѣгаютъ къ закрѣпленію положенія вертикалей „косыми створами". На одномъ или обоихъ берегахъ разбиваются 2 параллельныхъ линіи, перпендикулярныхъ къ створному сѣченію AB (AH" и BC' - черт. 141; BC' и LC" - черт. 142) и на нихъ устанавливается рядъ вѣхъ съ цвѣтными флажками, такъ что-




бы вертикали находились на пересѣченіи створнаго сѣченія съ направленіемъ, проходящимъ черезъ 2 соотв. вѣхи, обозначенныя флажками одного и того же цвѣта. Второй способъ (черт.142) удобнѣе перваго въ томъ отношеніи, что установка прибора въ необходимой точкѣ можетъ быть достигнута безъ помощи наблюдателя съ берега, путемъ опредѣленія точки пересѣченія одного изъ косыхъ створовъ со створнымъ сѣченіемъ, отмѣченнымъ вѣхами K и A на одномъ берегу и B и L - на другомъ. Однако этотъ способъ примѣняется только на не очень широкихъ рѣкахъ, т.к. нѣсколько грубѣе перваго, и, кромѣ того, требуетъ открытаго и невысокаго берега.

Зимою, когда измѣренія производятся со льда, въ мѣстахъ промѣровъ глубинъ и измѣреній скоростей прорубаются „лунки", разстоянія до которыхъ точно измѣряются по льду.

Каждая вертикаль обозначается буквою или нумеромъ; лучше всего обозначать вертикаль разстояніемъ ея отъ репера, установленнаго на лѣвомъ берегу.

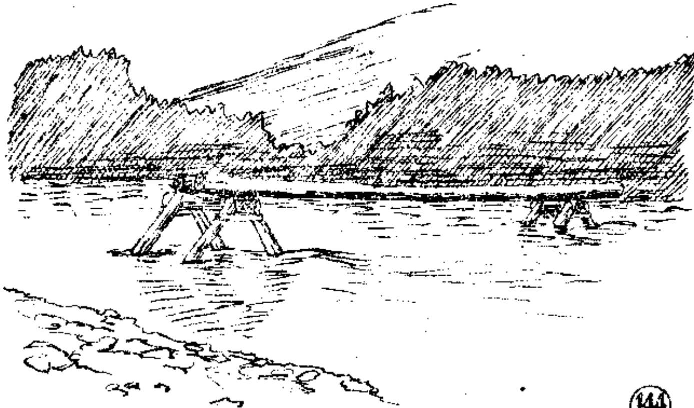
## § 73. ПРИСПОСОБЛЕНІЯ ДЛЯ ИЗМѢРЕНІЯ СКОРОСТЕЙ ПО ВЕРТИКАЛЯМЪ.

На небольшихъ рѣкахъ, въ особенности для постоянныхъ измѣреній, очень удобно пользоваться „гидрометрическимъ мостикомъ", который сооружается въ плоскости створа и служитъ для выполненія всѣхъ необходимыхъ измѣреній. На канавахъ и ручьяхъ этотъ мостикъ можетъ представлять доску, перекинутую съ берега на берегъ, или простѣйшаго типа однопролетный балочный или шпренгельный (черт.143) мостикъ; на болѣе широкихъ, но тихихъ рѣчкахъ мостикъ можетъ быть многопролетнымъ - на рядѣ промежуточныхъ свай. Временный мостикъ состоитъ изъ козелъ съ настиломъ, причемъ козлы могутъ по мѣрѣ надобности переставляться по всей ширинѣ рѣки (черт.144).

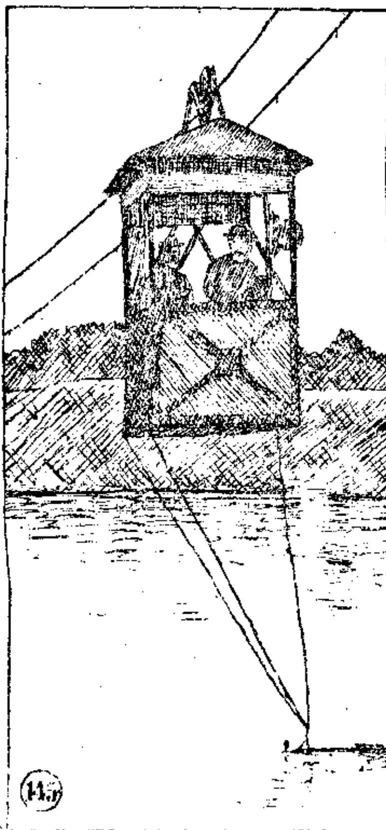



На рѣкахъ съ крутыми берегами, особенно скалистыми, и съ быстрымъ теченіемъ нерѣдко сооружаются висячіе мостики, состоящіе изъ настила, подвѣшеннаго къ двумъ стальнымъ троссамъ, перекинутымъ поперекъ рѣки. Еще чаще мостики подвѣшиваются подъ существующими проѣзжими мостами, которые сами по себѣ слишкомъ высоки для измѣреній.

Подвѣшенный на троссѣ мостикъ удобнѣе замѣнять „люлькою", которая можетъ передвигаться по троссу и устанавливаться надъ любой вертикалью. Люлька тяжелаго типа (нѣмецкая) представляетъ изъ себя металлическую клѣтку, подвѣшиваемую къ телѣжкѣ, передвигающейся по

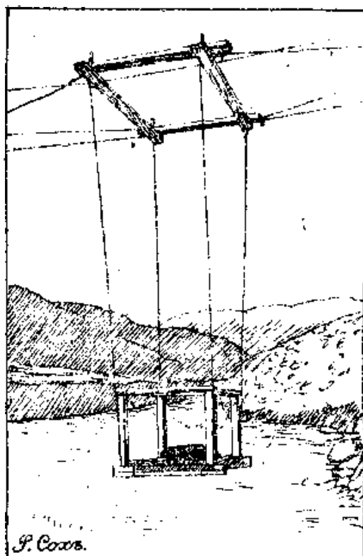



троссу, и вмѣщающая въ себя 1-2 людей съ необходимыми инструментами (черт.145). Значительно проще и легче устройство люльки, принятое въ С.Америкѣ (черт.142), а также въ Россіи, въ Туркестанѣ (черт.146) послѣдній типъ люльки подвѣшивается къ двумъ троссамъ и передвигается съ берега при помощи шнурковъ; американская люлька передвигается сидящимъ въ ней наблюдателемъ. Разстоянія отъ берега отсчитываются или по тому троссу, по которому перемѣщается люлька, или, лучше, по особому. При работѣ изъ люльки обычно примѣняются вертушки, подвѣшиваемыя за троссъ (§ 14). Чтобы теченіе не угоняло вертушку изъ плоскости створа, она подтягивается веревкой къ другому троссу, натягиваемому параллельно главному, выше по теченію, при посредствѣ блока (черт.147).



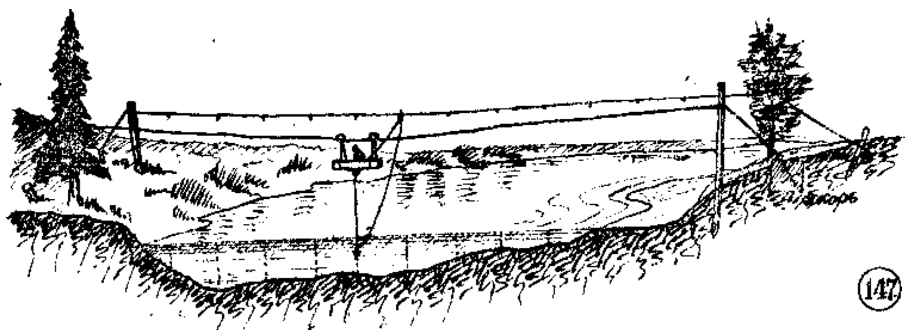

Для висячихъ мостиковъ и люлекъ берется оцинкованный стальной тросъ, діаметромъ 12-25 мм., въ зависимости отъ величины пролета.

Для прочности (чтобы натяженіе не превышало опредѣленной доли временнаго сопротивленія, напр. 1/10 при подъемѣ людей), тросъ долженъ имѣть опредѣленный провѣсъ, вычисляемый по рас-




146

стоянію между опорами, вѣсу тросса и допускаемому сопротивленію.*) Чтобы не препятствовать судоходству, или чтобы вслѣдствіе провѣса тросса (достигающаго нерѣдко нѣсколькихъ саженъ) люлька не касалась воды, концы тросса приходится укрѣплять на высокихъ берегахъ, или поднимать на деревья, столбы или особыя деревянныя опоры (черт.148 - типичная опора американскихъ гидрометрическихъ станцій) и затѣмъ закрѣплять „якорями" въ видѣ бревна, зарываемаго въ землю, или бетоннаго монолита съ залитымъ въ него болтомъ, къ которому привязывается троссъ (черт. 147) **). Чтобы сохранять одно и то же разстояніе отъ люльки до поверхности воды, полезно такъ сконструировать люльку, чтобы можно было ее устанавливать на любой высотѣ.

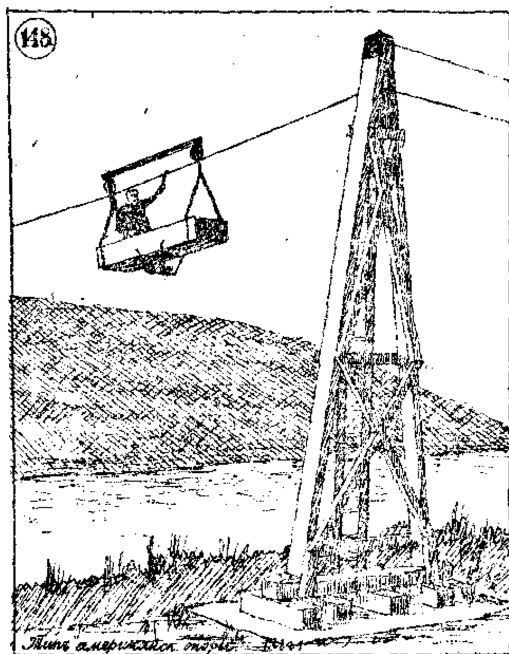



147

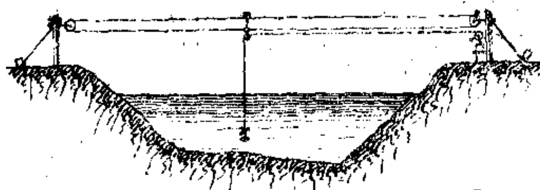
---

*) См., напр., Hütte. Справочная книга, II т. стр. 645 (8 изд.)

**) При работахъ русскихъ инженеровъ на р. Зеѣ высота опоръ бралась различной, что считалось болѣе безопаснымъ при натяженіи тросса.




Устройство гидрометрическихъ мостиковъ и люлекъ облегчаетъ производство измѣренiй, однако обходится дорого поэтому встрѣчается только на неширокихъ рѣкахъ, чаще горныхъ, гдѣ высокiе берега дѣлаютъ излишнимъ сооруженiе опоръ. Альбрехтомъ предложено устройство люльки для одной лишь вертушки (черт.149), управленiе которой производится съ берега при помощи блоковъ; троссъ опоры и люлька въ этомъ случаѣ могутъ имѣть гораздо меньшiе размѣры, зато вертушка чаще подвергается опасностямъ.

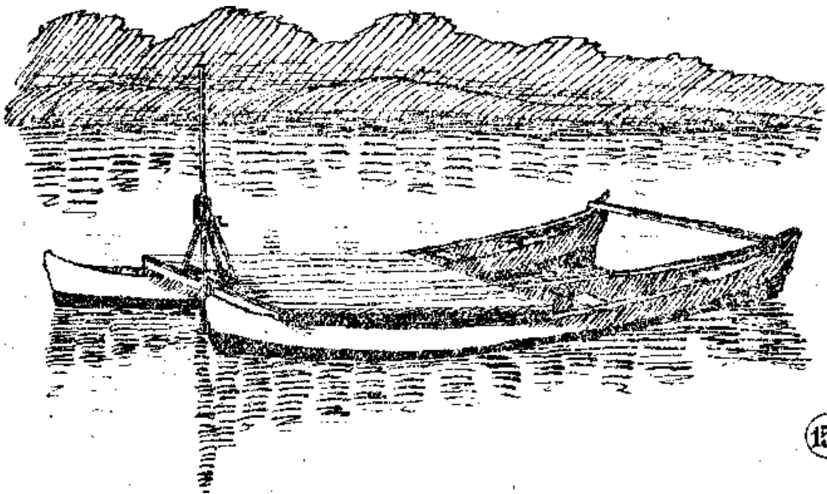



На широкихъ и глубокихъ рѣкахъ, особенно при временномъ оборудованiи гидрометрической станцiи во время общихъ изслѣдованiй, для установки въ створѣ приборовъ для измѣренiй примѣняется устройство понтоновъ (плашкоутовъ, помостовъ) изъ 2 лодокъ, соединяемыхъ между собою дощатымъ настиломъ (черт.150). При работѣ съ понтона предпочтенiе отдается вертушкамъ, подвѣшиваемымъ на штангѣ къ штангодержателю (§ 13). Вертушка можетъ спускаться въ воду:

1) съ носовой части понтона, для чего помостъ выдвигается впередъ по теченiю и разстоянiе между лодками берется возможно больше, во избѣжанiе подпора, измѣняющаго распредѣленiе скоростей около поверхности воды (примѣрно, это разстоянiе берется равнымъ длинѣ лодокъ);

2) между лодокъ въ носовой части (черт. 150 и 151); вертушка въ этомъ случаѣ имѣетъ наиболѣе устойчивое положеніе, но подпоръ, вызываемый лодками, нельзя устранить даже раздвиганіемъ лодокъ на 2-3 саж. (часто пролетъ берется равнымъ утроенной ширинѣ лодки);

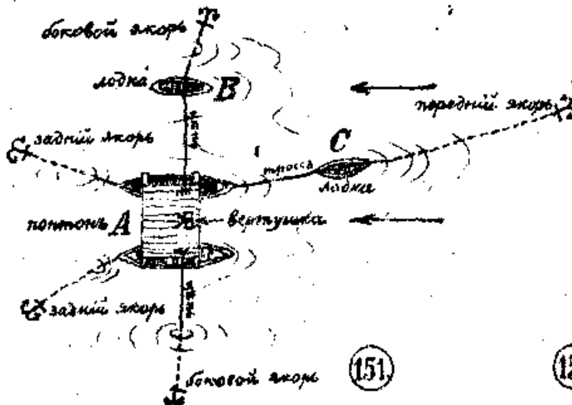
3) съ бортовъ; настилъ выносится въ сторону (черт.152), разстояніе между лодками можетъ быть небольшое (1 саж.), подпоръ оказываетъ меньшее вліяніе, однако несимметричное положеніе вертушки дѣлаетъ ее менѣе устойчивой.



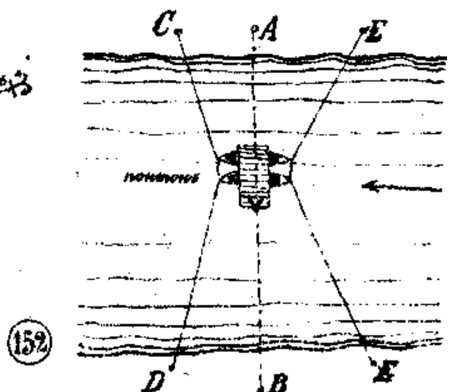
150

Въ виду практическихъ удобствъ, чаще всего примѣняется установка вертушки между лодокъ.

Особенно много хлопотъ вызываетъ передвиженіе понтона и закрѣпленіе его въ необходимомъ мѣстѣ и направленіи. Перемѣщеніе понтона по ширинѣ рѣки достигается или въ ручную по троссу, или



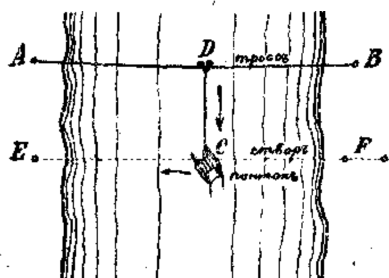

151



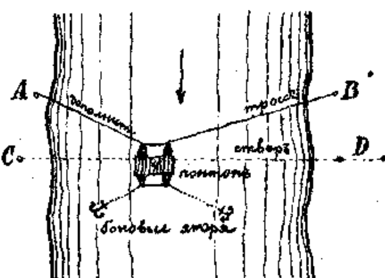

152

при посредствѣ боковыхъ якорей (черт.151). При работахъ на р.Зеѣ понтонъ передвигался по троссу автоматически, по принципу „самолета": понтонъ прикрѣплялся канатомъ къ блоку D, передвигавшемуся по троссу AB (черт.153); понтонъ рулемъ поворачивался въ наклонное по отношенію къ теченію положеніе и теченіе заставляло его перемѣщаться по ширинѣ рѣки.

На неширокихъ и тихихъ рѣкахъ понтонъ можетъ какъ передвигаться, такъ и устанавливаться въ необходимомъ мѣстѣ, по тому же троссу,



153



154

къ которому прикрѣплены мѣтки, т.к. небольшой прогибъ его не окажетъ существеннаго вліянія. При большомъ прогибѣ лучше для установки понтона натягивать два дополнительныхъ тросса - выше и ниже створнаго сѣченія (черт.152) или ограничиться однимъ дополнительнымъ троссомъ и закрѣплять положеніе понтона двумя боковыми якорями (черт.154). Для того, чтобы „завозить" и „выручать" якоря, необходима особая лодка. На широкихъ рѣкахъ, когда нѣтъ возможности натянуть въ створномъ сѣченіи троссъ и понтонъ приходится устанавливать по „косымъ створамъ" (см. § 72), примѣняются два способа закрѣпленія понтона. Въ первомъ случаѣ выше по теченію бросается якорь, къ которому на длинномъ троссѣ прикрѣпляется понтонъ, удерживаемый двумя боковыми якорями, или, кромѣ того, двумя задними (черт.151); при этомъ передній якорь можетъ служить для нѣсколькихъ вертикалей (иногда для всей ширины рѣки) безъ перестановки. Во второмъ случаѣ понтонъ закрѣпляется четырьмя боковыми якорями, которые приходится перевозить при каждой установкѣ. На такихъ рѣкахъ, какъ Волга въ среднемъ и нижнемъ теченіи (шириною до 3-4 верстъ) примѣненіе понтона для измѣреній является единственно возможнымъ; вслѣдствіе большой глубины и скорости теченія закрѣпленіе понтона и работа на немъ являются дѣломъ чрезвычайно труднымъ и опаснымъ. Для „завозки" якорей и перестановки понтона здѣсь прихо-

дится примѣнять пароходы. Нерѣдко въ одномъ створномъ сѣченіи при такихъ условіяхъ работы ведутся одновременно съ 2 и болѣе понтоновъ, или же, какъ въ Германіи, не прерываются и ночью; въ послѣднемъ случаѣ на понтонѣ сооружаются каюты для наблюдателей и рабочихъ.

Иногда на небольшихъ рѣкахъ роль понтона исполняетъ лодка, изъ которой производятся измѣренія; закрѣпляется лодка 1-2 троссами, рѣже якорями. Работа изъ лодки плоха въ томъ отношеніи, что трудно такъ установить приборъ, чтобы на него не вліяла близость лодки *). При небольшой глубинѣ рѣки лучше предпочесть установку безъ всякихъ приспособленій: рабочій, стоя въ водѣ, держитъ передъ собою штангу; провода сигнализаціи идутъ къ батареѣ на берегу.

На горныхъ кавказскихъ рѣчкахъ иногда измѣренія производятся изъ повозки, передвигаемой по мѣрѣ надобности.

Лучшимъ оборудованіемъ створнаго сѣченія слѣдуетъ признать устройство мостика, съ котораго можно болѣе точно устанавливать приборы и болѣе устойчиво удерживать ихъ въ необходимомъ положеніи. Кромѣ соображеній, неизбѣжныхъ при работѣ изъ люльки или съ понтона необходимо принять во вниманіе ту опасность, которой подвергаются при этомъ наблюдатели и которая несомнѣнно вліяетъ на аккуратность въ работѣ.

Для зимнихъ измѣреній расхода сооружается теплушка, представляющая изъ себя будку, обшитую войлокомъ и снабженную небольшою печкою. Теплушка обычно на полозьяхъ (на саняхъ) перевозится съ мѣста на мѣсто и устанавливается надъ прорубью, въ которую черезъ отверстіе въ полу опускается вертушка. Чтобы прорубь имѣла однообразную форму, примѣняются станки для сверленія круглыхъ лунокъ (лёдосверлители), отъ которыхъ затѣмъ вверхъ по теченію прорубается узкая щель для пропуска штанги (длиною до ½ сажени) съ той цѣлью, чтобы лопасти вертушки находились въ условіяхъ, возможно близкихъ къ естественнымъ, и не отражали вліянія проруби.

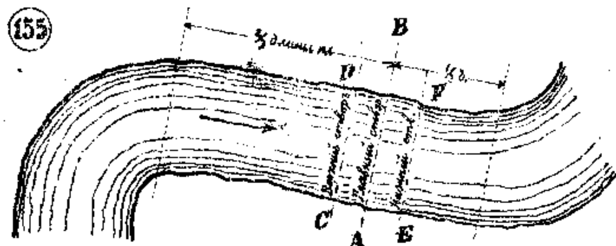
Помимо указанныхъ приспособленій, необходимыхъ для измѣренія скоростей, въ створномъ сѣченіи устраивается водомѣрный постъ (см. ниже) того или другого типа для наблюденія надъ колебаніями горизонта воды во время производства измѣреній.

---

*) Съ лодки производились измѣренія на практикѣ Кетового Вы-сшикуло, причемъ приборы (вертушки, поломеръ) опускались въ воду съ носа лодки, расположенной ниже по теченію отъ камня, наименьшаго

## § 74. ВЫБОРЪ МѢСТА ДЛЯ ИЗМѢРЕНІЙ ПОПЛАВКАМИ.

Поплавки кореннымъ образомъ отличаются отъ приборовъ другихъ типовъ (см. § 5) тѣмъ, что измѣряютъ не дѣйствительную скорость въ избранномъ створномъ сѣченіи, а среднюю скорость на участкѣ нѣкотораго протяженія по направленію струй, которую можно считать близкою къ скорости въ створѣ лишь при условіи параллельности струй. Поэтому при выборѣ участка для измѣреній поплавками особенно желателенъ прямой плёсъ съ правильнымъ и однообразнымъ профилемъ (ср. условіе 1 § 68), длиною не менѣе 2-3 - кратной ширины рѣки. Мѣсто для измѣреній намѣчается по срединѣ избраннаго плёса или нѣсколько ниже по теченію (рекомендуется на разстояніи 2/3 длины плёса отъ его начала). Аналогично съ методами, указанными въ § 70, устанавливается направленіе створнаго сѣченія (перпендикулярно къ траекторіи поплавковъ), къ которому и относятся измѣряемыя скорости. Для измѣренія пути, проходимаго поплавками, кромѣ этого створа, называемаго главнымъ, на мѣстности обозначаются еще два створа - дополнительныхъ - на равныхъ разстояніяхъ параллельно главному выше и ниже по теченію: верхній створъ CD (черт.155) и нижній створъ EF. Чтобы опредѣлить, насколько равномѣрно движеніе на избранномъ участкѣ, пускаютъ пробные поплавки и опредѣляютъ продолжительность ихъ хода отъ верхняго до главнаго створа и отъ главнаго до нижняго; не должно быть значительной систематической разницы.




## § 75. РАЗСТОЯНІЕ МЕЖДУ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ СТВОРАМИ.

Съ тою цѣлью, чтобы неточность въ опредѣленіи длины пути поплавка и продолжительности хода меньше оказывала вліянія на результаты измѣреній, слѣдовало бы разстоянія между дополнительными створами возможно увеличивать. Съ другой стороны, какъ было указа-

---

[illegible], носомъ противъ теченія.

но, поплавками измѣряется средняя скорость струй на участкѣ между дополнительными створами и чѣмъ больше эти створы будутъ удалены тѣмъ замѣтнѣе можетъ отличаться измѣренная скорость отъ дѣйствительной скорости въ главномъ створѣ. Поэтому приходится устанавливать то наименьшее разстояніе между дополнительными створами, которое дастъ возможность измѣрить скорость съ необходимой точность

Скорость движенія поплавка опредѣляется по формулѣ (31):

$$v = \frac{s}{t},$$

гдѣ $s$ есть разстояніе между створами, $t$ - продолжительность хода поплавка. Будемъ считать величину $s$ опредѣляемою безошибочно, отнеся ошибки въ счетъ неточнаго опредѣленія времени $t$. Для вычисленія ошибки въ значеніи $v$ въ зависимости отъ ошибки въ величинѣ $t$, опредѣлимъ дифференціалъ уравненія (31):

$$dv = - \frac{sdt}{t^2} \qquad (165)$$

Замѣнимъ $t$ его значеніемъ: $t = \frac{s}{v}$:

$$dv = - \frac{v^2 dt}{s},$$

откуда:

$$s = - \frac{v^2 dt}{dv} \qquad (166)$$

Здѣсь $dv$ - ошибка въ опредѣленіи скорости $v$; за $dt$ примемъ суммарную ошибку въ измѣреніи времени, включающую въ себя неточность въ опредѣленіи моментовъ прохода поплавковъ черезъ оба створа, а также ошибки въ отсчетѣ этихъ моментовъ по секундомѣру; (отрицательный знакъ свидѣтельствуетъ о томъ, что если $dt$ будетъ положительнымъ, то $dv$ - отрицательно, т.к. $v$ и $t$ взаимно обратны).

Чтобы опредѣлить скорость съ точностью до 2% при помощи секундомѣра, суммарную ошибку при работѣ съ которымъ можно принять равною 0.5 секунды, разстояніе $s$ должно быть не менѣе

$$s = - \frac{v^2\, 0,5}{dv};$$

при значеніи $dt = + 0,5$, величина $dv = - 0,02\, v$, слѣд.:

$$s = 25\, v \qquad (167)$$

При работѣ съ карманными часами $dt$ будетъ около 2 сек.; для относительной точности опредѣленія скорости въ 5% необходима минимальная величина

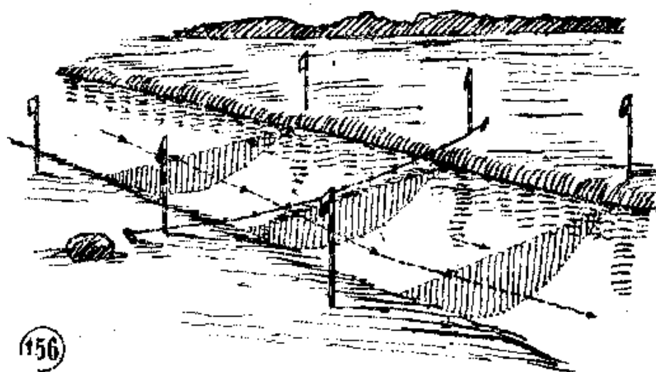
$$s = 40\ v \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (168)$$

Если сопоставить выраженіе (167) со значеніемъ $s = vt$, окажется, что разстояніе между створами должно выбираться такъ, чтобы продолжительность хода поплавковъ была не менѣе

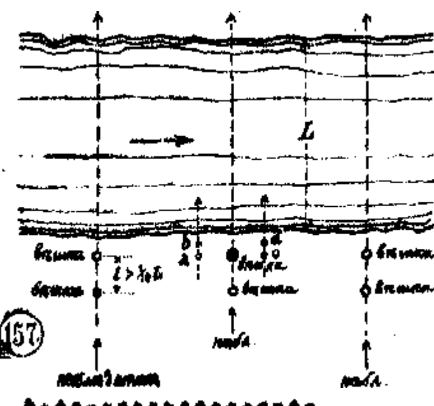
$$t = 25\ \text{сек.} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (169)$$

Отступленія отъ требованія (167) приходится допускать на небольшихъ рѣчкахъ и ручьяхъ, гдѣ трудно найти участокъ необходимой длины съ однообразнымъ профилемъ; тамъ приходится брать разстоянія иногда до 2-3 саж., а у горныхъ рѣчекъ на необходимомъ протяженіи тщательно расчищать русло, искусственно улучшая условія. Такъ какъ по ширинѣ рѣки величина скорости мѣняется (§ 42), то для точнаго исполненія условія (167) необходимо было бы измѣнять положеніе створовъ для различныхъ поплавковъ, а кромѣ того, при различныхъ горизонтахъ воды, т.к. при этомъ тоже измѣняется скорость. На практикѣ принято почти исключительно устройство только двухъ достоянныхъ дополнительныхъ створовъ на разстояніи 15-40 саж., между тѣмъ желательно для высокихъ горизонтовъ, въ половодье и паводки, имѣть другіе створы, хотя бы въ связи съ другою шириною рѣки. Кромѣ этого, очень полезно устраивать особые створа для прибрежныхъ поплавковъ, дающихъ худшіе результаты; послѣднее обстоятельство объясняется тѣмъ, что вслѣдствіе быстраго измѣненія скоростей у береговъ (ср. AC и BD на черт. 89, а также черт. 119), поплавки стремятся попасть на струи съ большею скоростью и даютъ преувеличенную скорость, или же, будучи пущены у самаго берега, легко задерживаются у его неровностей или попадаютъ въ водовороты. „Прибрежные" створы увеличиваютъ сходство измѣренныхъ скоростей съ дѣйствительными и сокращаютъ трату времени на неудачныя запусканія поплавковъ.

## § 76. ОБОЗНАЧЕНІЕ СТВОРОВЪ ПРИ ИЗМѢРЕНІЯХЪ ПОПЛАВКАМИ.

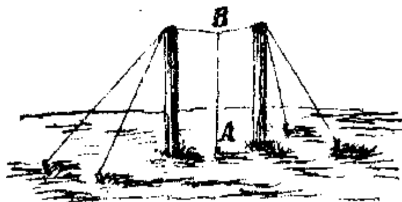


При небольшой ширинѣ рѣки для обозначенія дополнительныхъ створовъ, также какъ и главнаго, натягиваются бичевки, канаты или стальные троссы. Наблюдатель, чтобы установиться въ плоскости створа, находитъ такое положеніе, когда канатъ закрываетъ свое отраженіе на поверхности воды. Нерѣдко, особенно на болѣе широкихъ рѣкахъ, пользуются для закрѣпленія створа двумя вѣшками, устанавливаемыми вертикально на обоихъ берегахъ (черт.156); для наблюденія необходимо стать позади одной изъ вѣшекъ, чтобы она закрыла собою другую. Если одинъ изъ береговъ рѣки ровный и открытый, то можно обѣ вѣшки каждаго створа установить на этомъ берегу (черт.157) на продолженіи плоскости створа; при этомъ разстояніе между вѣшками должно быть не менѣе 1/10 ширины рѣки *). При большой ширинѣ рѣки наблюденія производятся въ бинокль или лучше при посредствѣ угломѣрнаго инструмента (теодолита), плоскость вращенія трубы котораго совмѣщается съ плоскостью створа; наблюдатель замѣчаетъ по секундомѣру моменты прохожденія поплавковъ черезъ вертикальную нить трубы.



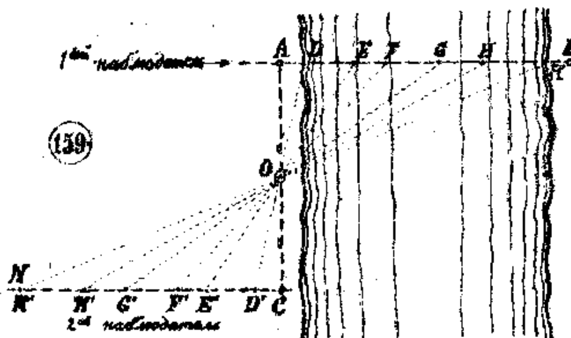

Чтобы устранить неточность, зависящую отъ толщины вѣшекъ, и облегчить центрировку угломѣрнаго инструмента, на Камско-Иртышскихъ водныхъ изысканіяхъ примѣнялись особые створные знаки

*) Этотъ методъ удобенъ для „прибрежныхъ" створовъ; разстояніе [illegible] можетъ быть незначительно (см. створы ab и cd на ч.157).

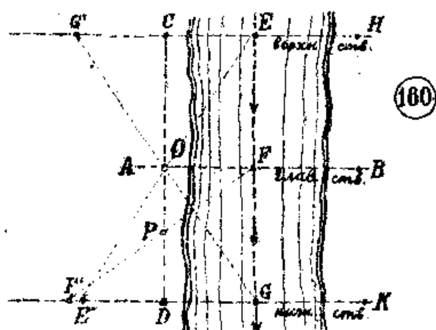


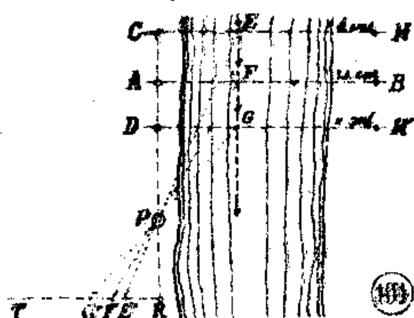

(„створы"): вѣшка замѣнялась проволокою (АВ), натягиваемою между двумя кольями (черт.158).

При обработкѣ измѣреній поплавками, выпускаемыми въ различныхъ точкахъ по ширинѣ рѣки, необходимо знать точки пересѣченія поплавкомъ со створами, чтобы приписать измѣренную скорость опредѣленной вертикали; если для измѣреній выбранъ хорошій участокъ, то достаточно наблюдать только за главнымъ створомъ, что значительно облегчаетъ работу и упрощаетъ оборудованіе. Съ этою цѣлью лучше всего пользоваться троссомъ съ замѣтными мѣтками, по которымъ дѣлаются отсчеты съ того же мѣста, откуда пускаются поплавки. При большой ширинѣ рѣки приходится пользоваться или засѣчками поплавковъ при помощи мензулы или теодолита въ моментъ пересѣченія ими створа, или пользоваться „косыми створами" (§ 72), или, визируя черезъ „центральную" вѣху О (черт.159) отмѣчать на берегу, на линіи CN, параллельной створу АВ, точки D', E', F' и т.д.; если разстоянія отъ центральной вѣхи




до створа и линіи CN равны, т.е. СА = ОС, то на линіи CN точки расположены черезъ такіе же промежутки, какъ точки D, E, F и т.д. на створѣ; если же линія АС раздѣлена вѣхою О въ отношеніи $\frac{x}{y}$, полученныя разстоянія на линіи CN придется помножить на это отношеніе (послѣдній способъ удобенъ въ томъ случаѣ, когда на берегу нѣтъ достаточно ровнаго и открытаго мѣста для разбивки линіи CN). Когда отмѣчаются точки пересѣченія поплавками всѣхъ трехъ створовъ, въ цѣляхъ экономіи въ наблюдателяхъ, примѣнительно къ описанному способу могутъ быть предложены два порядка установки центральныхъ вѣхъ. На рѣкахъ неширокихъ устанавливается двѣ вѣхи О и P (черт. 160) и точки E', F' и G' отмѣчаются на продол-




ненiяхъ крайнихъ створовъ. Если разстоянiя между створами меньше ширины рѣки, то центральная вѣха P (черт.161) ставится въ сторонѣ, за ней разбивается линiя RT, параллельно створамъ, на которую проектируются точки пересѣченiя поплавками всѣхъ трехъ створовъ; масштабы для разныхъ створовъ будутъ различные. *)

## § 77. ПУСКОВОЙ СТВОРЪ И ЕГО ОБОРУДОВАНIЕ.

Выше верхняго створа нерѣдко устраивается еще одинъ - пусковой створъ. Отсюда выпускаются поплавки, а также, если въ створахъ натянуты размѣченные тросы, дѣлаются отсчеты разстоянiй отъ берега до тѣхъ точекъ, гдѣ поплавки пересѣкаютъ створы. Лучшимъ оборудованiемъ пускового створа является устройство въ немъ мостика или люльки; наиболѣе часто въ этомъ створѣ по канату движется лодка, изъ которой забрасываются поплавки („створъ лодокъ"). Если же требуется особой правильности въ распредѣленiи поплавковъ по ширинѣ рѣки, то лодка удерживается на веслахъ или на якорѣ. На небольшихъ рѣчкахъ поплавки забрасываются съ берега и тогда пусковой створъ является фиктивнымъ. Разстоянiе отъ верхняго створа до пускового выбирается, въ зависимости отъ скорости теченiя, отъ 2 до 10-15 саженъ: необходимо соблюдать условiе, чтобы при пересѣченiи верхняго створа поплавокъ уже шелъ со скоростью окружающихъ его струй,

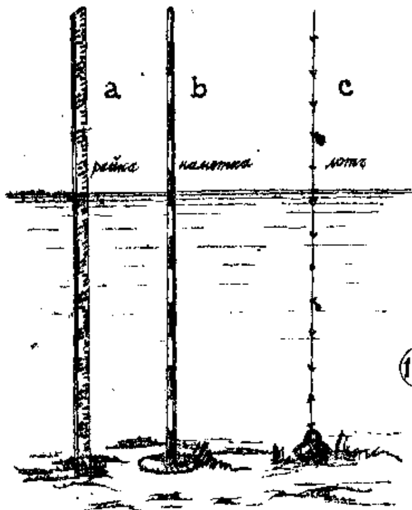
---

*) Подробно разработаны эти способы въ „Инструкцiи для измѣренiя расхода воды поплавками" Гидрометр. части въ Евр. Россiи.

при пусканіи поплавковъ съ мостика или изъ люльки для этого достаточно 2-3 саж.

## ГЛАВА VII. ИЗМѢРЕНІЕ ЖИВЫХЪ СѢЧЕНІЙ.

### § 78. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМѢРЕНІЯ ГЛУБИНЪ.

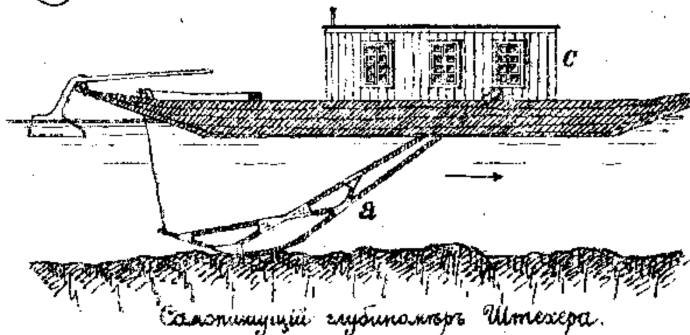



На неглубокихъ рѣкахъ для производства промѣровъ глубинъ употребляется обычная нивеллирная рейка (черт.162,а), которая устанавливается вертикально (на глазъ) въ необходимой точкѣ. Когда нуль рейки находится на днѣ рѣки, отсчетъ по рейкѣ у поверхности воды даетъ глубину вертикали. Спеціально для промѣровъ примѣняется намётка или футштокъ (черт. 162, b) - шестъ, снабженный на концѣ башмакомъ, чтобы не могъ углубляться въ дно. Длина намётки - отъ 2 до 4 саженъ; дѣленія - десятыя доли сажени или фута. Можно пользоваться, какъ намёткою, штангою отъ вертушки, если на ней нанесены дѣленія.

При большихъ глубинахъ (больше 3-4 саж.) примѣняется лотъ (черт.162,с) - просмоленная веревка съ подвѣшенною гирей, вѣсомъ 10-30 фунтовъ. Веревка при помощи узловъ, кожаныхъ или металлическихъ мѣтокъ („марокъ") раздѣлена на десятыя доли сажени, а для измѣренія глубинъ озеръ и морей - на футы. Гиря забрасывается въ воду и, когда веревка приметъ отвѣсное положеніе, по ней дѣлается отсчетъ глубины. При работѣ вертушкою на троссѣ (§ 14) можно измѣрять глубины, отсчитывая по барабану разстояніе отъ положенія лиры у поверхности воды до прикосновенія ея къ дну. Когда измѣряются большія глубины морей и океановъ, моментъ достиженія гирею дна опредѣлить очень трудно вслѣдствіе большого вѣса веревки

(стального тросса или проволоки); въ этомъ случаѣ примѣняются болѣе сложныя приспособленія, какъ лотъ Брука, глубомѣръ Томсона и др. *)

При изслѣдованіяхъ рѣкъ, въ особенности на значительномъ протяженіи для цѣлей судоходства, цѣлесообразно примѣнять особыя суда съ промѣрными приспособленіями, слишкомъ громоздкими для обычныхъ промѣровъ створныхъ сѣченій. Въ Германіи на большихъ рѣкахъ находятъ примѣненіе самопишущіе промѣрные аппараты, достоинствомъ которыхъ можно считать непрерывность получаемыхъ профилей. Одинъ изъ лучшихъ приборовъ, конструкціи Штехера (черт.163) состоитъ изъ судна, съ котораго опускается на дно измѣрительная желѣзная рама а, прикрѣпленная къ горизонтальному валу, повороты котораго и регистрируются. Заслуживаетъ вниманія „профилографъ" Гайома, регистрирующій давленіе воды на воздухъ, заключающійся въ цилиндрѣ, который въ особомъ барабанѣ катится по дну рѣки на троссѣ вслѣдъ за лодкою или судномъ; приборъ этотъ основанъ на томъ, что съ глубиною увеличивается гидростатическое давленіе.



Самопишущій глубиномѣръ Штехера.

## § 79. ПРОИЗВОДСТВО ПРОМѢРОВЪ ПОПЕРЕЧНАГО СѢЧЕНІЯ.

Чтобы получить профиль поперечнаго сѣченія рѣки, можно примѣнить обычные методы нивеллировки. На практикѣ въ нивеллировкѣ прибѣгаютъ для опредѣленія профиля лишь „сухой" части поперечнаго сѣченія, часть же, покрытая водою, такъ называемое „живое сѣченіе" измѣряется посредствомъ ряда промѣровъ глубины въ различныхъ точкахъ по ширинѣ рѣки черезъ опредѣленныя разстоянія. Разстоянія эти

---

*) См. Океанографія, проф. Ю.Шокальскаго, 1917.

беруться обычно одинаковыя; величина ихъ зависитъ отъ требуемой относительной точности измѣренія. Промѣры ручьевъ и рѣчекъ шириною до 2-3 саж. могутъ производиться черезъ 0.1-0.2 саж., при ширинѣ до 10-20 саж. - черезъ 1 саж. Рѣки шириною до 100 саж. могутъ промѣряться черезъ 2 саж., при большей ширинѣ - черезъ 5, 10 и даже 20 саженъ. Хотя равномѣрное распредѣленіе промѣрныхъ вертикалей удобно въ томъ отношеніи, что облегчается построеніе профиля и вычисленіе площади живого сѣченія, правильнѣе, однако, дѣлать промѣры чаще тамъ, гдѣ быстрѣе измѣняются глубины, напримѣръ, у береговъ, и, наоборотъ, рѣже въ мѣстахъ съ болѣе плавными очертаніями профиля дна. Отъ количества промѣрныхъ вертикалей зависитъ точность опредѣленія площади живого сѣченія, которая должна согласоваться съ точностью измѣренія скоростей.

Промѣры поперечныхъ сѣченій производятся:

1) при съемкѣ рѣчного русла для изображенія его рельефа изобатами; въ этомъ случаѣ поперечныя сѣченія намѣчаются одно за другимъ черезъ опредѣленныя разстоянія, или, правильнѣе, приноравливаются къ мѣстамъ, гдѣ по расположенію русла въ планѣ можно ожидать измѣненія очертаній профиля (закругленія, перекаты). Въ виду того, что для одного промѣра нѣтъ смысла оборудовывать поперечное сѣченіе сложными приспособленіями для обозначенія створа и вертикалей и установки промѣрнаго прибора въ необходимомъ мѣстѣ, способъ съемки русла „по поперечникамъ" находитъ примѣненіе лишь на небольшихъ и мелкихъ рѣчкахъ и ручьяхъ, на большихъ же и широкихъ рѣкахъ слѣдуетъ отдать предпочтеніе другимъ методамъ (см.§ 82);

2) при обслѣдованіи участка рѣки, съ цѣлью выбора мѣста для створнаго сѣченія; по указаннымъ выше причинамъ выгодно прибѣгать къ этому способу только при небольшомъ протяженіи участка.

На основаніи ряда промѣровъ поперечныхъ сѣченій устанавливается положеніе и направленіе створнаго сѣченія, которое затѣмъ приходится неоднократно промѣрять, а именно:

3) чтобы построить профиль поперечнаго сѣченія и по нему намѣтить скоростныя вертикали;

4) при опредѣленіи расхода, съ цѣлью вычисленія площади живого сѣченія и элементарныхъ расходовъ по глубинамъ вертикалей. На рѣкахъ небольшихъ и съ достаточно устойчивымъ дномъ, промѣры производятся передъ измѣреніемъ скоростей, на большихъ же рѣкахъ, гдѣ измѣренія скоростей занимаютъ цѣлый день, створное сѣченіе промѣря-

ется дважды: накануне измѣреній, вечеромъ, и послѣ измѣреній, на слѣдующее утро; такой порядокъ имѣетъ въ виду уловить тѣ измѣненія русла, которыя могутъ произойти во время измѣренія скоростей. При измѣреніи расхода поплавками точно такіе же промѣры производятся и въ дополнительныхъ створныхъ сѣченіяхъ;

б) при очень подвижномъ руслѣ промѣры створнаго сѣченія производятся періодически, чтобы принять въ расчетъ (при пользованіи „кривою расхода" - см. ниже) происходящія измѣненія профиля, сильно вліяющія на зависимость между высотою горизонта воды и расходомъ. Осуществляется это вычисленіемъ высоты „средняго дна" и построеніемъ графика колебаній этой величины (см. 81 и ниже).

Если промѣры глубинъ производятся со льда, то для вычисленія площади живого сѣченія изъ глубинъ вертикалей вычитается толщина льда подъ поверхностью воды въ прорубяхъ. Результаты промѣровъ заносятся въ таблицу; въ ней же вычисляется площадь живого сѣченія, какъ сумма трапецій - частей площади, ограниченныхъ сосѣдними вертикалями. Ниже приведена схема записи, принятая Гидрометрической Частью въ Евр. Р.:

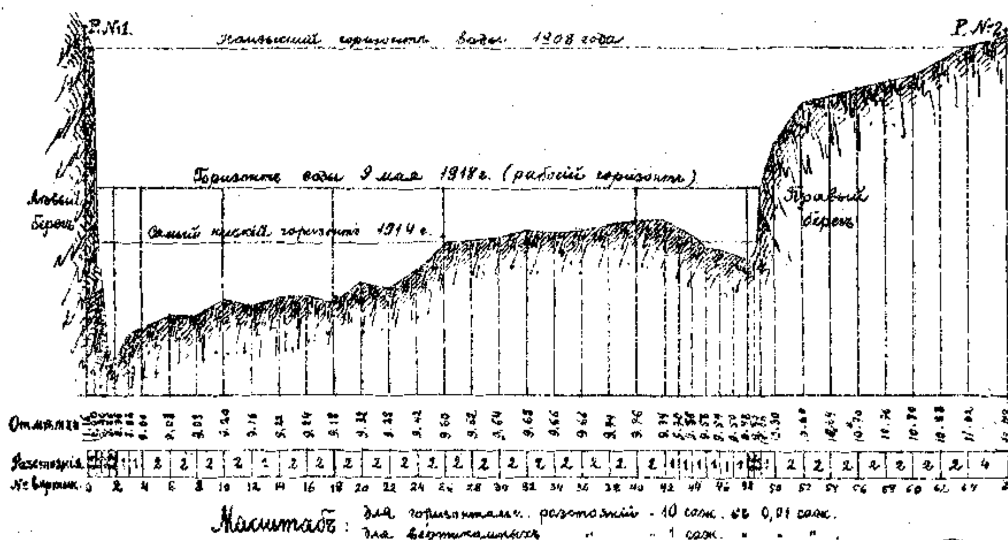
ПРОМѢРЫ СТВОРНАГО СѢЧЕНІЯ.

| Разст. отъ реп. №1 въ саж. | Толщ. льда подъ водой | Глубины, въ саж. | | | Средняя глубина площадки | Ширина площадки | Площадь площадки |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Промѣры | | Средняя подо льдомъ | | | |
| | | I | II | | | | |
| 3,08 | Урѣзъ | лѣв. берега | | 0,00 | 0,04 | 1,92 | 0,077 |
| 4,00 | 0,10 | 0,17 | 0,18 | 0,08 | 0,20 | 2,00 | 0,400 |
| 6,00 | 0,09 | 0,42 | 0,42 | 0,33 | 0,38 | 2,00 | 0,760 |
| 8,00 | 0,07 | 0,50 | 0,51 | 0,43 | | | |
| | | и | т. | д. | | | |

## § 80. ПРОФИЛЬ ПОПЕРЕЧНАГО СѢЧЕНІЯ.

На основаніи промѣровъ глубинъ нерѣдко строится профиль поперечнаго сѣченія или только въ предѣлахъ „живого сѣченія", или до наивысшаго горизонта воды; въ послѣднемъ случаѣ часть сѣченія, непокрытая водой, нивеллируется. Цѣлью построенія можетъ служить:

*Примѣрный профиль створнаго сѣченія рѣки ..........*




(164)

1) опредѣленіе площади живого сѣченія планиметромъ.

2) проведеніе изотахъ и вычисленіе расхода по способу Кульмана,

3) графическое опредѣленіе расхода по способу Гардахера,

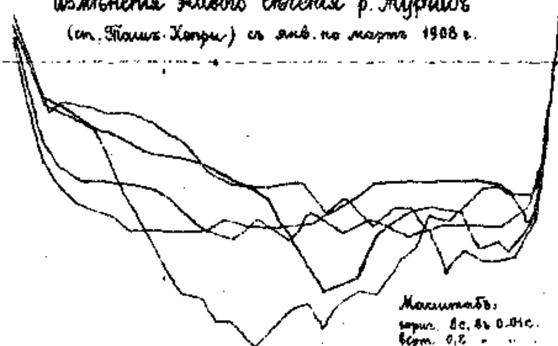
4) выборъ постоянныхъ скоростныхъ вертикалей въ створномъ сѣченіи,

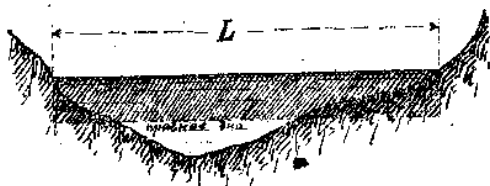
5) опредѣленіе величинъ площадей живого сѣченія при различныхъ горизонтахъ (см. ниже).

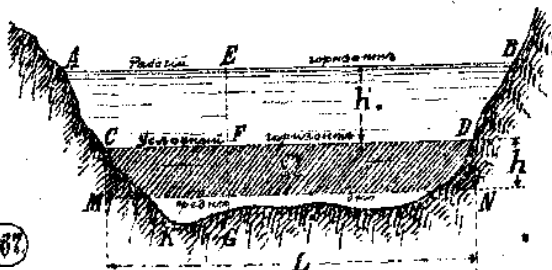
Профиль можетъ быть построенъ или по измѣреннымъ глубинамъ (черт. 106), или по отмѣткамъ точекъ дна, вычисленнымъ относительно репера (черт. 164).

## § 81. ВЫСОТА СРЕДНЯГО ДНА.

Если русло состоитъ изъ легко размываемой породы, то профиль живого сѣченія подвергается постояннымъ измѣненіямъ. Очертанія поперечнаго профиля туркестанскихъ рѣкъ, русло которыхъ сложено изъ лёсса, послѣ каждаго паводка измѣняются до неузнаваемости (черт.165 *). Чтобы имѣть возможность сравнивать полученные въ разное время результаты, принято вычислять среднюю отмѣтку дна, т.е. среднее ариеметическое всѣхъ точекъ профиля дна. Такую отмѣтку будетъ имѣть дно, если живое сѣченіе превратить въ равновеликій прямоугольникъ съ шириною, равной ширинѣ урѣза воды L (черт.166). При различныхъ горизонтахъ высота средняго дна различна, если берега не отвѣсны. Чтобы эта высота не зависѣла отъ высоты горизонта, для вычисленія отмѣтки средняго дна, принимаютъ какой-нибудь постоянный горизонтъ воды, напр. наинизшій, и замѣняютъ прямоугольникомъ только часть живого сѣченія ниже избраннаго горизонта CD (черт. 167):




$$пл.\ CKGD = \Omega = L.h;$$

$$h = \frac{\Omega}{L},$$

и отмѣтка „средняго дна"

---

*) Заимствовано изъ доклада ... 12 Съѣзду русскихъ дѣятелей по воднымъ путямъ о работахъ на р. Мургабѣ въ 1907-9 гг.

MN опредѣляется, какъ разность отмѣтки постояннаго горизонта CD и средней глубины h. Площадь Ω вычисляется по глубинамъ отъ линіи CD, опредѣляемымъ вычитаніемъ изъ глубинъ, полученныхъ промѣрами при горизонтѣ AB, величины h' – разности отмѣтокъ рабочаго" горизонта AB и избраннаго CD, напр. FG = EG – h'.

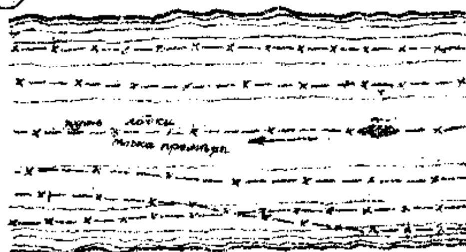
При устойчивомъ руслѣ высота средняго дна остается постоянной, при размываніи же его или занесеніи иломъ эта высота будетъ измѣняться, благодаря чему можно внести соотв. исправленія въ зависимость между горизонтомъ воды и расходомъ.

## § 82. ДРУГІЕ СПОСОБЫ ПРОМѢРОВЪ.

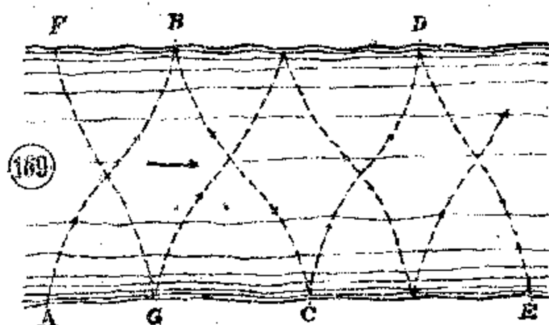
При обслѣдованіи и съемкѣ рельефа русла на большихъ протяженіяхъ и особенно на широкихъ и быстрыхъ рѣкахъ, гдѣ сильно затруднено пользованіе различными приспособленіями, необходимыми при промѣрахъ поперечныхъ сѣченій, находятъ примѣненіе другіе способы, не требующіе продолжительной установки промѣрнаго прибора въ каждой промѣрной вертикали, а именно:

1) промѣры по продольникамъ,
2) промѣры по косымъ галсамъ.

Первый изъ этихъ способовъ заключается въ слѣдующемъ: лодка свободно плыветъ внизъ по теченію (черт. 168) и черезъ небольшіе промежутки времени изъ нея дѣлаются промѣры глубинъ (во время такого движенія работа съ наметкой или лотомъ при нѣкоторомъ навыкѣ не представляетъ затрудненій). Нѣсколько точекъ траекторіи лодки замѣчаются однимъ изъ способовъ, описанныхъ въ § 72, остальныя (точки промѣровъ) наносятся на планъ по интерполяціи, для чего отмѣчаются моменты промѣровъ. На основаніи цѣлаго ряда такихъ заѣздовъ на различныхъ разстояніяхъ по ширинѣ рѣки можетъ быть построенъ планъ рѣки съ изобатами, а также профиль любого сѣченія. Особенно цѣненъ способъ съемки по продольникамъ при изслѣдованіи перекатовъ для цѣлей судоходства. Недостаткомъ его считается то, что вверхъ по теченію лодку

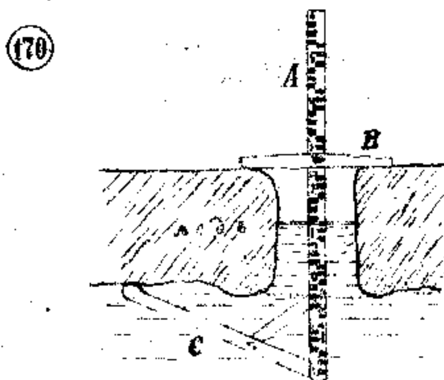

168

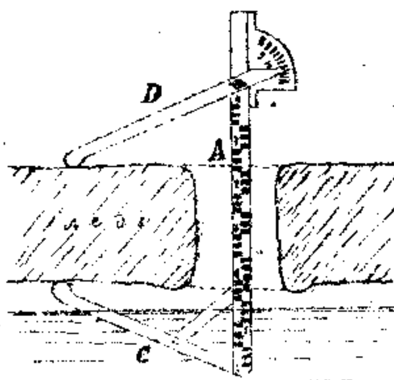
приходится подымать на бичевѣ или на веслахъ вдоль берега, и постоянные переѣзды отнимаютъ много времени. Поэтому нѣсколько удобнѣе способъ промѣровъ „по косымъ галсамъ", когда лодка, вмѣсто свободнаго движенія, передвигается на веслахъ поперекъ рѣки по траекторіи АВС... (черт. 169); для упрощенія кривые участки, какъ АВ и др. замѣняются прямыми, которые наносятся на планъ по точкамъ А, В, С и т.д.; разстоянія между этими точками измѣряются по берегу. Нѣсколько переѣздовъ дадутъ достаточное число промѣровъ для проведенія изобатъ. Этотъ способъ интересно совмѣщать съ измѣреніемъ средней поверхностной скорости (ср.§ 65).




## § 83. ОСОБЕННОСТИ ЗИМНИХЪ ПРОМѢРОВЪ.

Какъ было указано въ § 79, при обработкѣ промѣровъ, сдѣланныхъ со льда, для опредѣленія глубины вертикали изъ измѣренной глубины воды вычитается толщина льда подъ поверхностью воды въ проруби. Для измѣренія толщины льда, вообще, и части ея ниже по-




Ледомѣрныя рейки.

верхности воды, въ частности, примѣняются особыя „ледомѣрныя рейки". Управленіемъ Гидрометр.Части въ Евр. Россіи зимою 1915 года было испытано нѣсколько моделей такихъ реекъ на р. Малой Невѣ и рекомендуются два типа: рейка А съ подкосомъ С и „движкомъ" В (черт.170) или съ рычагомъ D (черт.171). Верхній край подкоса находится на одной высотѣ съ нулемъ рейки; дѣленія идутъ отъ нуля вверхъ (синія) и внизъ (красныя). Употребленіе реекъ ясно изъ чертежей. Если вода въ проруби находится ниже льда (черт.171), то глубина ея опредѣляется (рейкою, лотомъ или наметкою) или непосредственно, или сначала измѣряется разстояніе отъ верхней поверхности льда до дна и изъ него вычитается разстояніе отъ этой поверхности до воды, измѣряемое ледомѣрною или обычною рейкою. Въ томъ случаѣ, когда вода покрываетъ ледъ, изъ глубины воды вычитается толщина льда, а при измѣреніи расхода правильнѣе вычитать и высоту слоя воды надъ поверхностью льда. Наконецъ, если вода стоитъ въ проруби, высота ея надъ нижней поверхностью льда, измѣряемая ледомѣрною рейкой, вычитается изъ глубины воды, опредѣляемой, какъ въ первомъ случаѣ.

## *ГЛАВА VIII. ИЗМѢРЕНІЕ СКОРОСТЕЙ ВЕРТУШКАМИ.*

### § 84. ВЫБОРЪ ВЕРТИКАЛЕЙ.

Чѣмъ больше число скоростныхъ вертикалей, тѣмъ съ большею точностью можетъ быть опредѣленъ расходъ, зато требуется больше времени и дороже обходится работа. Число это зависитъ отъ метода, по которому вычисляется расходъ; методъ Кульмана требуетъ наибольшаго количества скоростныхъ вертикалей: На Волгѣ, напр., для проведенія изотахъ скорости измѣрялись на 20-30 вертикаляхъ; чтобы закончить въ теченіе одного дня всѣ необходимыя измѣренія, приходилось работать одновременно двумя вертушками. При примѣненіи метода Гарлахера можно принять за правило, что лучше выбрать меньшее число вертикалей, но зато на каждой изъ нихъ возможно точнѣе опредѣлить среднюю скорость, придерживаясь надлежащей установки приборовъ и достаточной продолжительности наблюденій. Этотъ методъ требуетъ расположенія скоростныхъ вертикалей надъ характерными перегибами профиля дна.

Обычно число вертикалей выбирается въ зависимости отъ ширины рѣки, но не болѣе 15, чтобы всѣ измѣренія успѣть произвести въ одинъ день. Такъ, можно принять примѣрно слѣдующее соотношеніе между шириной рѣки L, наименьшимъ числомъ скоростныхъ вертикалей N и разстояніями между вертикалями R:

| L | N | R |
|---|---|---|
| до 1 саж. | 4 | 0,2 саж. |
| 1 - 5 саж. | 5 | 0,2 - 0,5 саж. |
| 5 - 10 " | 8 | 0,5 - 1,0 " |
| 10 - 30 " | 10 | 1 - 2 " |
| 30 - 50 " | 10 | 3 - 4 " |
| 50 - 80 " | 10 | 5 - 7 " |
| 80 -120 " | 10 | 8 -12 " |
| 120 -300 " | 12 | 12 -20 " |
| свыше 300 " | 15 | 20 - 30 " |

Если профиль дна имѣетъ плавныя и симметричныя очертанія, то вертикали можно распредѣлять равномѣрно по всей ширинѣ рѣки (см. черт.78); вообще же лучше согласовать расположеніе скоростныхъ вертикалей съ перегибами профиля (черт.164: вертикали 2,0; 4,0; 10,0; 18,0, 26,0; 40,0 и 48,0), а также намѣчать ихъ нѣсколько чаще у береговъ и около стрежня, въ особенности, если для вычисленія расхода будетъ принятъ методъ Гарлахера.

## § 85. ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ НАБЛЮДЕНІЯ.

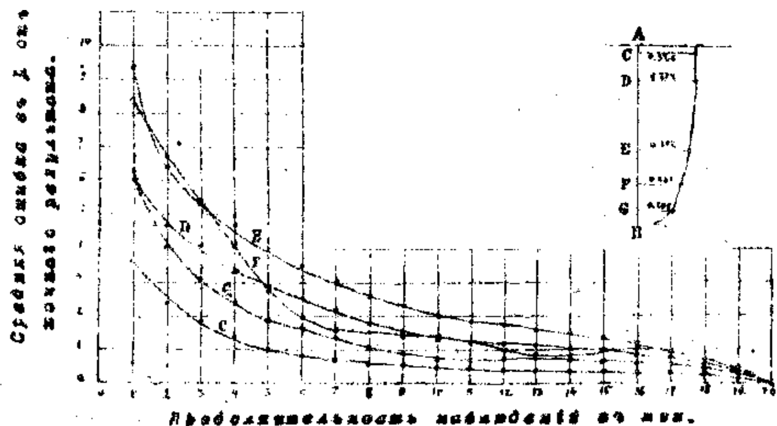
Методы выбора числа точекъ на каждой вертикали и ихъ относительнаго распредѣленія указаны въ §§ 60-64. Въ каждой изъ этихъ точекъ вертушка устанавливается и производятся наблюденія надъ числомъ оборотовъ лопастей въ теченіе нѣкотораго промежутка времени; продолжительность его зависитъ отъ конструкціи счетчика (число оборотовъ между двумя послѣдовательными звонками), величины скорости, имѣющагося въ распоряженіи времени для наблюденій и больше всего отъ пульсацій. Вслѣдствіе вліянія пульсаціи (§ 44), періодичность которой не установлена, вообще говоря, измѣряется всегда случайная величина средней за время наблюденія скорости,

которая тѣмъ ближе къ дѣйствительной средней въ данной точкѣ, чѣмъ дольше продолжается наблюденіе. Чтобы установить ту минимальную продолжительность наблюденія, при которой можетъ быть достигнута достаточная точность результата, русскіе инженеры (Н.Н.Соколовъ, М.М.Мусселіусъ и С.И.Моисеенко) при работахъ на сибирскихъ рѣкахъ примѣняли слѣдующій методъ. Большою вертушкою Отта, обороты лопастей которой регистрировались хронографомъ, производились наблюденія 20-минутной продолжительности на различныхъ вертикаляхъ и различныхъ глубинахъ. Запись хронографа разбивалась на 20 одноминутныхъ промежутковъ, для каждаго изъ которыхъ опредѣлялась средняя скорость (или среднее число оборотовъ въ секунду). Комбинируя въ круговомъ порядкѣ эти 20 результатовъ, получали по 20 наблюденій съ продолжительностью въ 2, 3, 4... 19 минутъ.

Для каждаго изъ результатовъ 1, 2, 3... 19 минутнаго наблюденія опредѣлялось уклоненіе $\Delta$ отъ результата двадцатиминутнаго наблюденія и средняя ошибка для каждаго ряда по формулѣ:

$$\delta = \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta)^2}{20-1}} \qquad (170)$$

Зависимость между продолжительностью наблюденія и среднею ошибкою его, выраженною въ процентахъ отъ средней скорости (или средняго числа оборотовъ въ сек.) за 20 минутъ, изображалась на особыхъ графикахъ (черт.172). Чтобы опредѣлить продолжительность наблюденія, дающаго результатъ съ точностью до извѣстнаго процента (2%), надо найти пересѣченія горизонтальной линіи, соотв. до-



пускаемой относительной ошибкѣ въ %, съ каждой изъ кривыхъ (построенныхъ для различныхъ глубинъ одной и той же вертикали АВ); пересѣченія опредѣлятъ необходимую продолжительность наблюденій. Въ результатѣ подобныхъ изслѣдованій инж. Мусселіусъ предложилъ для достиженія 2% точности наблюдать около поверхности (на 0,2 глубины вертикали) - 2 минуты, около дна (на 0,8 глубины) - 8 минутъ, а инж. Моисеенко для тѣхъ же условій - 2-3 минуты и 5-6 минутъ, и подъ ледянымъ покровомъ для всѣхъ точекъ - 2-6 минутъ, справедливо замѣчая при этомъ, что средняя ошибка зависитъ не только отъ пульсаціи, а вообще отъ неравномѣрности вращенія лопастей, на которую, особенно при малыхъ скоростяхъ, вліяетъ типъ вертушки, типъ и вѣсъ лопастей и многія другія условія, такъ что указываемыя величины не могутъ имѣть общаго значенія. Для практическаго руководства ниже приведены нормы, рекомендуемыя двумя русскими наиболѣе извѣстными инструкціями: 1) Мин. Путей Сообщенія - нормы, составленныя примѣнительно къ результатамъ инж. Мусселіуса, и 2) Гидрометр. Части Отд. Зем. Улучшеній, принятыя въ предположеніи, чтобы число оборотовъ вертушки за время наблюденія было не меньше 100 и не больше 500:

| *Глубина установки вертушки:* | *Минимальная продолжительность наблюденія:* *1) при открытомъ руслѣ:* | | *2) подъ ледянымъ покр.:* | |
|---|---|---|---|---|
| 1. у дна | 8 мин. (М.П.С.) | . . . . . . | 8 мин. (М.П.С.) | . . . . . |
| 2. на 0,8 Н | 8 " " | 4 мин. (Г.Ч.) | 8 " " | 4 м. (Г.Ч.) |
| 3. на 0,6 Н | 5 " " | 3 " " | 5 " " | 3 " " |
| 4. на 0,2 Н | 3 " " | 2 " " | 8 " " | 4 " " |
| 5. у поверхности | 3 " " | . . . . . . . | 8 " " | . . . . . |

Простой способъ провѣрки достаточности времени наблюденія предлагаетъ Ясмундъ: наблюденіе, продолжающееся 200 сек., дѣлится на двѣ половины, которыя разсматриваются, какъ два отдѣльныхъ наблюденія; результаты ихъ не должны замѣтно отличаться. „Инструкція для изслѣдованія водныхъ путей" требуетъ, чтобы это расхожденіе не превышало 5% отъ средняго ариѳметическаго. Недостатокъ такого способа тотъ, что случайно даже кратковременныя наблюденія

могутъ дать близкіе результаты; вѣрнѣе этотъ способъ даетъ нѣкоторую гарантію того, что вертушка за время установки не засорилась и не повреждена. Въ практикѣ западно-европейскихъ измѣреній принято брать значительно меньшую продолжительность наблюденія, основываясь на опытахъ, которыми установлено, что ошибки въ отдѣльныхъ измѣреніяхъ, вызванныя пульсаціей, взаимно компенсируются при значительномъ числѣ измѣреній въ различныхъ точкахъ живого сѣченія (въ частности, по отношенію къ вертикалямъ правильность такого предположенія подтверждается тѣмъ, что площадь измѣнистаго графика скоростей, получаемаго при обработкѣ наблюденій по детальному методу Гайоша (см. § 64), оказывается очень близкою къ площади графика, построеннаго по продолжительнымъ наблюденіямъ въ отдѣльныхъ точкахъ). Правда, такія наблюденія не даютъ матеріала для построенія графиковъ скоростей и изотахъ, но для вычисленія расхода они особенно пригодны тогда, когда быстро измѣняется высота горизонта и приходится возможно быстрѣе производить измѣренія скоростей. Такъ, Ясмундъ считаетъ достаточнымъ время установки вертушки 3½ – 5 мин., Швейцарское Гидрометр. Бюро примѣняетъ норму 2 – 2½ мин., Вѣнское Гидрографич. Бюро считаетъ достаточной 1 минуту, и только при неспокойномъ теченіи 3 и болѣе минутъ.

## § 86. ПРОИЗВОДСТВО ИЗМѢРЕНІЙ ВЕРТУШКОЙ.

Измѣренія начинаются отъ одного изъ береговъ и вертушка постепенно передвигается съ одной вертикали на другую; на каждой изъ нихъ тѣмъ или другимъ способомъ вертушка погружается поочередно на необходимыя глубины и, если допускаетъ ея конструкція, ось ея оріентируется перпендикулярно къ плоскости створа. Наблюденія рекомендуется начинать отъ наиболѣе глубокихъ точекъ, т.к. давленіе штанги и подпоръ, создаваемый ею, могутъ вызвать размываніе неустойчиваго русла, а это замѣтнѣе всего отразится на распредѣленіи скоростей у дна. Въ связи съ указаннымъ обстоятельствомъ необходимо измѣрять глубину каждой скоростной вертикали, независимо отъ обычныхъ промѣровъ всего живого сѣченія, передъ началомъ и послѣ окончанія измѣренія скоростей по вертикали, пользуясь для этого штангой или троссомъ вертушки.

Значительныя затрудненія представляетъ работа въ мутной водѣ,

когда легко может быть засорен иломъ механизмъ вертушки и даже повреждены лопасти. На болотныхъ рѣкахъ съ крайне медленнымъ теченіемъ въ лопастяхъ часто запутываются водяныя растенія, и происходящія отъ этого задержки трудно отличить отъ неравномѣрности вращенія, вызываемой пульсаціей. Почти невозможною становится работа, когда въ значительной части живого сѣченія величины скоростей меньше предѣла чувствительности вертушки, а съ этимъ обстоятельствомъ приходится сталкиваться гидротехникамъ при обслѣдованіи заболоченныхъ рѣкъ, какъ водопріемниковъ для осушительныхъ каналъ. Для такихъ условій проф. Глушковымъ разрабатывается методъ плавнаго поступательнаго передвиженія вертушки навстрѣчу медленно-движущейся водѣ, съ тѣмъ, чтобы скорость этого передвиженія вычиталась изъ опредѣленной по тарировочнымъ даннымъ *) суммарной скорости. Чтобы при очень незначительной скорости теченія вертушку не приходилось уводить далеко отъ створнаго сѣченія, гдѣ могутъ быть иныя условія, повидимому, возможно примѣнять методъ „ротаціи", т.е. поочереднаго передвиженія вертушки вверхъ и внизъ по теченію; въ этомъ случаѣ лопасти вертушки должны быть особо протарированы для обратнаго вращенія.

На быстрыхъ, особенно горныхъ, рѣкахъ работу съ вертушкою дѣлаютъ почти невозможною передвигаемые водою камни, галька, пни и т.п., которые часто повреждаютъ лопасти и заставляютъ переходить къ измѣренію однѣхъ только поверхностныхъ скоростей.

На судоходныхъ и сплавныхъ рѣкахъ усложняютъ работу суда и плоты, проходъ которыхъ нарушаетъ распредѣленіе струй и вызываетъ волненіе; приходится работу пріостанавливать на нѣкоторое время, чтобы избѣжать вліянія этихъ постороннихъ факторовъ; кромѣ того, необходимо соотв. образомъ выбрать типы установки и закрѣпленія приспособленій для измѣренія, чтобы не приходилось для пропуска судовъ убирать канаты, якоря и т.п.

При работѣ вертушкою отсчеты промежуточныхъ сигналовъ счетчика берутся лишь для контроля и обычно даже не записываются (ср. образецъ записи на стр. 16); на практикѣ принята болѣе сокращенная запись:

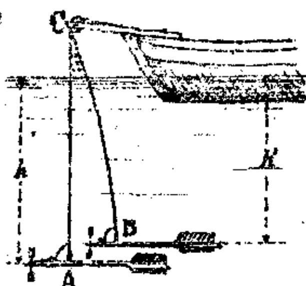
---

*) *Вслѣдствіе того, что при малыхъ скоростяхъ тарировочныя кривыя (черт. 45 и 48) имѣютъ направленіе близкое къ горизонтальному, величины скорости по ней опредѣляются очень точно.*

## ОБРАЗЕЦЪ ЗАПИСИ ИЗМѢРЕНІЯ СКОРОСТЕЙ ВЕРТУШКОЙ.

*Г. Москва, с. Пасьино, 9 мая 1918 г.      Вертушка Сима № 1899, л. 1.*

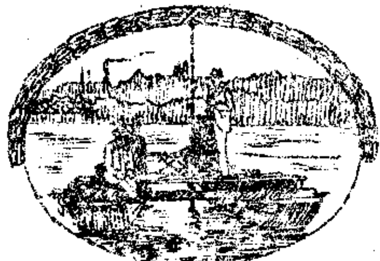
| № вертикали | Глубина вертик. | Глубина точки въ саж. | Число оборотовъ лопасти | Продолжительность наблюденія | Число оборотовъ въ сек. | Скорость въ сек. | Средняя скорость по вертикали |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2,0 | 0,68 | 0,14 | 350 | 242,9 | 1,44 | 0,172 | |
| | | 0,41 | 325 | 249,2 | 1,30 | 0,157 | |
| | | 0,54 | 450 | 367,4 | 1,20 | 0,148 | 0,158 |
| 8,0 | 0,50 | 0,10 | 350 | 193,7 | 1,80 | 0,211 | |
| | | 0,40 | 450 | 362,0 | 1,24 | 0,150 | 0,180 |
| | | | и | т. | д. | | |




Когда вертушка опускается въ воду на троссѣ, то необходимо учитывать ошибку въ опредѣленіи глубины, происходящую отъ угона вертушки внизъ по теченію (h' вмѣсто h – черт. 173), приблизительная поправка вводится по углу α, образуемому надводной частью тросса съ отвѣснымъ положеніемъ:

$$h = \frac{h'}{\cos\alpha}.$$

Взамѣнъ этого рекомендуется подтягивать вертушку другимъ троссомъ (см. черт. 145 и 147).



## ГЛАВА IX. ИЗМѢРЕНІЕ СКОРОСТЕЙ ПОВЕРХНОСТНЫМИ ПОПЛАВКАМИ.

### § 87. ИЗМѢРЕНІЕ НАИБОЛЬШЕЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ СКОРОСТИ.

Для опредѣленія расхода небольшихъ ручьевъ, и особенно быстрыхъ горныхъ рѣчекъ, нерѣдко примѣняется измѣреніе наибольшей поверхностной скорости (см. §57). Въ этомъ случаѣ выпускается рядъ поплавковъ въ различныхъ разстояніяхъ по ширинѣ рѣчки, преимущественно на ея серединѣ, и опредѣляется время, затрачиваемое каждымъ изъ нихъ на проходъ между дополнительными створами. Наибольшей скорости, очевидно, соотвѣтствуетъ наименьшая продолжительность хода.

П р и м ѣ р ъ: рѣчка Копытовка, притокъ р. Жуан; разстояніе между створами - 7 саж. Продолжительность хода поплавковъ:

| | | |
|---|---|---|
| 1) 32,2 сек. | 5) 32,3 сек. | 9) 32,8 сек. |
| 2) 33,2 " | 6) 30,8 " | 10) 34,5 " |
| 3) 31,5 " | 7) 29,8 " | 11) 37,7 " |
| 4) 37,3 " | 8) 31,9 " | 12) 31,0 " |

$$t_{min} = 29,8; \quad v_{max} = \frac{S}{t_{min}} = \frac{7,0}{29,8} = 0,24 \text{ саж.}$$

По формулѣ Шрона (72): $K_1 = 0,78$ и $(V_m) = 0,78 . 0,24 = 0,19$ саж. Площади створныхъ сѣченій: верхняго - $F_1 = 0,084$ кв. саж., главнаго - $F_2 = 0,062$ кв.с., нижняго - $F_3 = 0,046$ кв.с.; средняя площадь живого сѣченія $F_m$, по (172):

$$F_m = \frac{F_1 + 2 F_2 + F_3}{4} = 0,064 \text{ кв. саж.}$$

Расходъ

$$Q = F_m . (V_m) = 0,064 . 0,19 = 0,0122 \text{ куб.саж.}$$

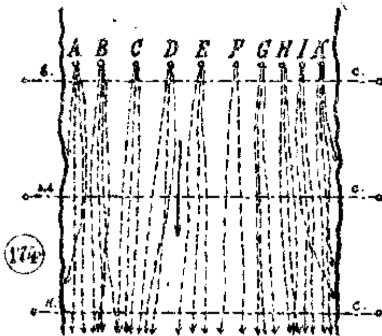
Болѣе правильно было бы брать среднее ариѳметическое изъ нѣсколькихъ наименьшихъ результатовъ, чтобы случайное или ошибочное измѣреніе не исказило величину расхода.

Способъ этотъ очень простъ и удобенъ тѣмъ, что не надо опредѣлять мѣста пересѣченія поплавками плоскостей створовъ.

## § 86. Распредѣленіе поплавковъ по ширинѣ рѣки.

На широкихъ рѣкахъ, когда измѣренія производятся примѣнительно къ методамъ вычисленія расхода, изложеннымъ въ § 58, поплавки могутъ быть распредѣлены или равномѣрно по всей ширинѣ рѣки, или такъ же, какъ при выборѣ вертикалей для измѣреній вертушкою (§ 84), распредѣленіе поплавковъ можетъ быть болѣе частымъ у береговъ, вблизи стрежня и въ мѣстахъ рѣзкихъ измѣненій профиля створныхъ сѣченій, съ тою лишь разницею, что въ этомъ случаѣ нельзя добиться точнаго прохожденія поплавковъ черезъ намѣченную точку главнаго створа. Чтобы измѣрить скорости прибрежныхъ струй, очень цѣлесообразно устраивать особые створы (см. § 75).

Такъ какъ на движеніе поплавковъ оказываютъ вліяніе разнообразные факторы, какъ скорость и направленіе вѣтра, пульсація струй воды, относительное ускореніе или замедленіе хода поплавка, форма поплавка, его вѣсъ и глубина погруженія и др., то въ каждой изъ избранныхъ точекъ А, Б, С... (черт. 174) выпускается нѣсколько поплавковъ (отъ 3 до 10), чтобы хотя отчасти устранить это вліяніе. Поплавки, выпущенные изъ одной точки, пересѣкаютъ плоскости створовъ не въ одной точкѣ: измѣренная скорость приписывается среднему ариѳметическому изъ разстояній точекъ пересѣченія отъ берега. Нерѣдко траекторіи поплавковъ перепутываются и поэтому на практикѣ принято ширину сѣченія дѣлить на нѣсколько частей – интерваловъ, сообразуясь съ очертаніями профиля и распредѣленіемъ скоростей, длиною отъ 1/50 до 1/20 ширины рѣки; для каждой части опредѣляется средняя продолжительность хода всѣхъ поплавковъ, которые пересѣкли плоскость створа въ предѣлахъ этого интервала, а по ней – средняя поверхностная скорость, которая приписывается средней вертикали; положеніе послѣдней опредѣляется, какъ среднее изъ точекъ прохода поплавковъ. Дальнѣйшая обработка указана въ § 58.



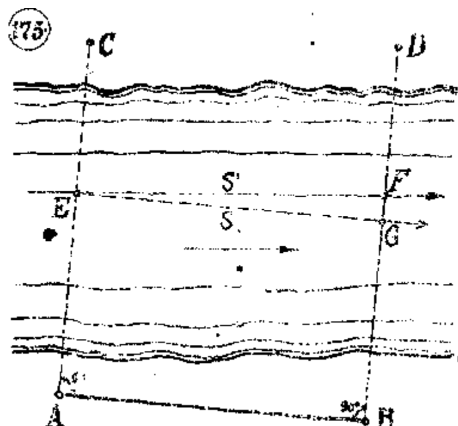
## § 89. ИЗГОТОВЛЕНІЕ ПОПЛАВКОВЪ.

Въ качествѣ поплавковъ обычно служатъ кружки, выпиливаемые изъ дерева. Достоинствомъ ихъ является, прежде всего, простота и дешевизна. Поплавки во время движенія, какъ замѣчено, вращаются вслѣдствіе различной скорости струй, несущихъ поплавокъ; чтобы при этомъ поплавокъ находился все время въ одинаковыхъ условіяхъ, необходимо, чтобы онъ имѣлъ симметричную форму; поплавокъ изъ кружка дерева этому требованію удовлетворяетъ.

Поплавокъ долженъ имѣть возможно меньшую плоскость, подверженную дѣйствію вѣтра, т.е. долженъ быть хорошо затопленъ; при толщинѣ кружка въ 1 – 2 дюйма это можетъ быть достигнуто даже безъ нагрузки.

При большой ширинѣ рѣки для лучшей видимости иногда поплавки окрашиваются масляной краской – красной (для середины рѣки) или бѣлой (у береговъ) или, наконецъ, той и другой по четвертямъ кружка. При ночныхъ измѣреніяхъ къ поплавкамъ прикрѣпляются зажженныя свѣчи (см. выше). Вообще же предпочитаютъ избѣгать подобныхъ усложненій, чтобы не приходилось вылавливать обратно поплавковъ, имѣющихъ нѣкоторую цѣнность.

## § 90. ИЗМѢРЕНІЕ РАЗСТОЯНІЯ МЕЖДУ СТВОРАМИ.




До сихъ поръ спорнымъ является вопросъ о томъ, принимать ли за разстояніе S въ формулѣ (31)

$$v_n = \frac{S}{t}$$

длину траекторіи поплавка между створами, или разстояніе между створами по перпендикуляру, т.е.

EF = S' или AB = S (черт. 175)

Скорость движенія поплавка по направленію EF будетъ:

$$v_n^{\prime} = \frac{S^{\prime}}{t} = \frac{S}{\cos\alpha . t} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (171)$$

гдѣ $\alpha$ – уголъ между направленіями EF и AB.

Расходъ опредѣляется, согласно (81) и (134), въ видѣ:

$$Q = \int_0^l \int_0^h v_n^{\prime} . \cos\alpha . \, dh \, . \, dl \, . \, K^{\prime},$$

причемъ $v_n^{\prime}$ – дѣйствительная скорость, $v_n^{\prime} . \cos\alpha = v_n$ – скорость по направленію, перпендикулярному къ створному сѣченію. Изъ (171) величина $v_n$ можетъ быть опредѣлена, какъ

$$v_n = v_n^{\prime} . \cos\alpha = \frac{S^{\prime} \cos\alpha}{t} = \frac{S}{t},$$

слѣд. для вычисленія расхода скорость должна опредѣляться по разстоянію, перпендикулярному къ створамъ. То же самое относится къ измѣренію разстояній между створами, направленіе которыхъ выбрано (§ 70) неудачно, неперпендикулярно къ направленію струй.

Примѣняемое, однако, нерѣдко на практикѣ опредѣленіе длины траекторіи поплавка по плану на основаніи засѣчекъ точекъ пересѣченія поплавка съ тремя створами можетъ быть объяснено только недоразумѣніемъ, т.к. при разстояніи между створами, напр. въ 20 саж. и углѣ отклоненія поплавка въ 10°, длина его траекторіи будетъ равна:

$$\frac{20}{\cos 10^{\circ}} = 20,30 \text{ саж.},$$

т.е. даже при столь неудачныхъ условіяхъ эту длину трудно отличить отъ 20 саж. Такое измѣреніе можетъ быть оправдано лишь на криволинейныхъ участкахъ, и если направленія створовъ не параллельны. Отмѣчаніе же трехъ точекъ пересѣченія поплавка съ плоскостями створовъ имѣетъ цѣлью опредѣленіе той вертикали, которой приписывается измѣренная скорость, какъ средней изъ вертикалей трехъ створовъ. Въ виду сложности этой работы предпочитается надлежащій выборъ участка съ тѣмъ, чтобы можно было отмѣчать только точку пересѣченія поплавка съ главнымъ створомъ.

## § 91. ПРОИЗВОДСТВО ИЗМѢРЕНІЙ ПОПЛАВКАМИ.

Такъ какъ поплавками опредѣляется средняя скорость нѣкотораго участка рѣки, то для правильнаго опредѣленія средней величины расхода дѣлаются промѣры трехъ живыхъ сѣченій и вычисляются среднія глубины. Затѣмъ, въ зависимости отъ принятаго метода вычисленія расхода или строится „средній" профиль, или же опредѣляется средняя площадь живого сѣченія:

$$F_m = \frac{1}{2}\left(\frac{F_1 + F_2}{2} + \frac{F_2 + F_3}{2}\right) = \frac{F_1 + 2F_2 + F_3}{4}, \quad . . . (172)$$

гдѣ $F_1$, $F_2$ и $F_3$ – площади живыхъ сѣченій въ верхнемъ, главномъ и нижнемъ створахъ. При неравныхъ разстояніяхъ между створами или большемъ числѣ промѣровъ средняя величина площади опредѣляется по объему водного тѣла, заключеннаго между крайними створами, дѣленному на разстояніе между ними.

Для работы поплавками необходимо нѣсколько наблюдателей: одинъ изъ нихъ пускаетъ поплавки на воду, другой отмѣчаетъ по секундомѣру моменты прохожденія каждаго поплавка черезъ крайніе створы или переходя отъ верхняго створа къ нижнему, или по сигналу, даваемому кѣмъ-нибудь другимъ, стоящимъ въ другомъ створѣ; третій наблюдатель засѣкаетъ поплавки или отмѣчаетъ по тросу точки ихъ прохода черезъ створы. На небольшихъ рѣкахъ, особенно, если поперекъ рѣки натянутъ канатъ или троссъ, работа можетъ быть произведена двумя наблюдателями, въ то время какъ при засѣчкахъ поплавковъ „центральными" вѣхами, ихъ необходимо 4–5.

При небольшой ширинѣ рѣки моменты прохода поплавковъ черезъ створъ отмѣчаются невооруженнымъ глазомъ, при ширинѣ же свыше 100 саж. необходимо пользоваться теодолитомъ, кипрегелемъ или биноклемъ.

Какъ уже указывалось, большое вліяніе на ходъ поплавковъ оказываетъ вѣтеръ, поэтому непремѣннымъ условіемъ для правильнаго опредѣленія расхода поплавками надо считать отсутствіе вѣтра. На практикѣ, однако, нерѣдко приходится работать въ вѣтреную погоду. Въ этомъ случаѣ можетъ оказать пользу формула (132). На р. Исети (Камско-Иртышской изыскапія) наблюденія производились по ночамъ, когда [illegible] въ поплавкахъ прикрѣпленными зажженными свѣч-

на берегахъ раскладывали костры, на фонѣ которыхъ можно было отличать вѣхи, обозначавшія створы.

Поплавки при записи обозначаются порядковыми нумерами; не принимаются въ расчетъ тѣ изъ нихъ, которые замѣтно отклоняются отъ общаго направленія, причаливаютъ къ берегу или попадутъ въ водоворотъ. Наблюденія записываются для удобства подраздѣленія на интервалы (см. § 88) по возрастающимъ разстояніямъ отъ одного изъ береговъ.

ОБРАЗЕЦЪ ЗАПИСИ ИЗМѢРЕНІЯ СКОРОСТЕЙ ПОВЕРХНОСТНЫМИ ПОПЛАВКАМИ.

Р. Москва, с. Павшино, 9 мая 1918 г. Разст. между створами 20 саж.

| № поплавк. | Место прохода через створъ: верхн. | Место прохода через створъ: средн. | Место прохода через створъ: нижн. | Продолж. хода | № интервала | Средняя продолж. хода | Поверхн. скорость въ сак. | Ж средн. скорости, вертикали |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 2,0 | | 108,9 | 1 | 99,2 | 0,202 | 2,4 |
| 3 | | 2,8 | | 89,4 | | | | |
| 4 | | 4,0 | | 86,9 | 2 | 91,1 | 0,218 | 4,9 |
| 2 | | 4,4 | | 98,8 | | | | |
| 5 | | 5,0 | | 89,7 | | | | |
| 7 | | 5,0 | | 92,0 | | | | |
| 6 | | 6,1 | | 87,2 | | | | |
| | | | и | | т. | | д. | |

Если поплавки представляютъ нѣкоторую цѣнность, то ихъ вылавливаютъ послѣ того, какъ они пройдутъ всѣ створы. Чтобы не усложнять работу, этого стараются избѣгать, и поэтому примѣняютъ дешевые кружки изъ дерева. При работѣ другими типами поплавковъ, какъ напр. гидрометрическими шестами, это вылавливаніе является обязательнымъ; оно отнимаетъ много времени, т.к. не сразу удается поймать шестъ. Для устраненія этого недостатка пытались (при работахъ на р. Зеѣ) пускать шестъ на тонкой бичевѣ-мотаусѣ, за который можно было возвращать шестъ обратно; выяснилось, однако, что движеніе шеста нѣсколько замедляется мотаусомъ.

При надлежащей постановкѣ измѣренія поплавками могутъ дать результаты, по точности не уступающіе вертушечнымъ; когда лучше будутъ разработаны способы перехода отъ поверхностныхъ скоростей къ среднимъ, работа съ дорогими вертушками на практикѣ будетъ вытѣснена простыми и дешевыми поплавочными измѣреніями. За вертушкою останется, конечно, ея роль въ научныхъ изслѣдованіяхъ и, въ частности, измѣреніе скоростей подъ ледянымъ покровомъ, т.к. поплавки для измѣреній подо льдомъ не пригодны.

## ГЛАВА X. ОБРАБОТКА ИЗМѢРЕНІЙ.

### § 92. ВЫЧИСЛЕНІЕ РАСХОДА.

На основаніи измѣренія скоростей на отдѣльныхъ вертикаляхъ (глава V и VIII) или на поверхности (глава IX) опредѣляется величина расхода. Такъ какъ методы вычисленія расхода, изложенные въ главѣ IV, предполагаютъ установившееся движеніе, то они могутъ быть примѣнены безъ чрезмѣрныхъ погрѣшностей только въ томъ случаѣ, когда въ продолженіе измѣренія скоростей по всей ширинѣ рѣки замѣтно не измѣняется величина расхода, о чемъ можно, напримѣръ судить по высотѣ уровня воды, т.к. эти величины находятся въ нѣкоторой зависимости. Чтобы наблюдать за колебаніями горизонта воды во время измѣренія скоростей, въ створномъ сѣченіи устраивается водомѣрный постъ (см. ниже); на немъ черезъ опредѣленные промежутки (черезъ часъ) или же въ моменты начала и конца измѣренія скоростей на каждой отдѣльной вертикали измѣряется высота горизонта воды.

Если колебанія горизонта воды за время измѣреній незначительны (по инструкціи И.П.С. - если величина площади живого сѣченія измѣняется меньше, чѣмъ на 1%, или, по проф. Глушкову, измѣненіе горизонта не превышаетъ 0,01 саж. за 2 часа), то при вычисленіи расхода можно съ этимъ обстоятельствомъ не считаться, а величину расхода приписать среднему горизонту, получаемому, какъ среднее ариѳметическое отсчетовъ водомѣрнаго поста за время измѣренія расхода.

На незначительныхъ рѣкахъ, гдѣ большія колебанія горизон

рѣдки, можно ограничиться измѣреніемъ высоты горизонта въ началѣ и концѣ измѣренія скоростей, и вычисленную величину расхода отнести къ среднему горизонту.

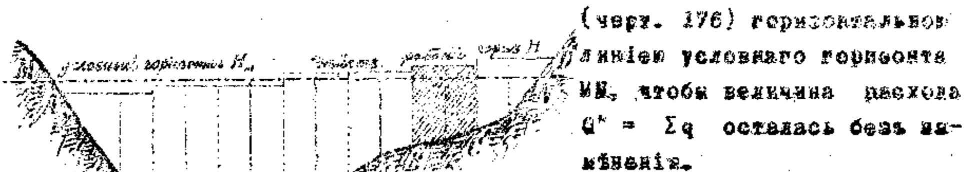
На большихъ же рѣкахъ измѣненіе высоты горизонта достигаетъ иногда 0,5 - 1 саж. въ день. Въ этомъ случаѣ приходится примѣнять болѣе сложные способы вычисленія расхода или относить его къ условному рабочему горизонту.

## § 93. ПРИВЕДЕНІЕ КЪ УСЛОВНОМУ ГОРИЗОНТУ.

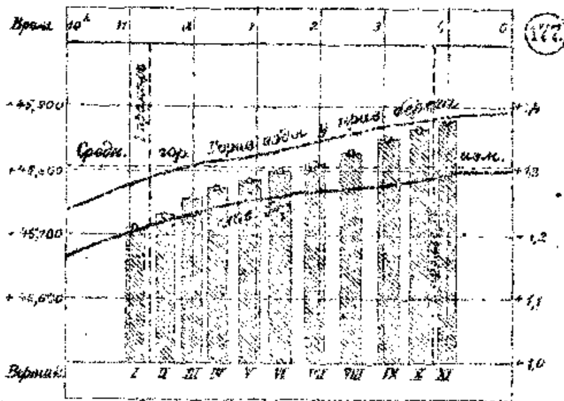
При значительныхъ колебаніяхъ горизонта вычисляется „условный рабочій горизонтъ", какъ общая ариѳметическая средняя высоты горизонта во время измѣренія на отдѣльныхъ вертикаляхъ, пропорціонально частичному расходу черезъ площадь, прилегающую къ вертикали или ограниченную двумя смежными скоростными вертикалями (см. 55):

$$H_m = \frac{\Sigma q . H}{\Sigma q} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (173)$$

гдѣ $H_m$ - отмѣтка искомаго условнаго горизонта, $q$ - частичные расходы и $H$ - соотв. имъ отмѣтки горизонта воды. Опредѣленію величины $H_m$ соотвѣтствуетъ такая срѣзка площади живого сѣченія ABCD (черт. 176) горизонтальною линіею условнаго горизонта MN, чтобы величина расхода $Q^x = \Sigma q$ осталась безъ измѣненія.




Іомундъ приводитъ сложный способъ опредѣленія высоты горизонта, соотвѣтствующей каждой скоростной вертикали, для того случая, когда наблюденія надъ горизонтомъ производятся систематически черезъ опредѣленные промежутки времени, независимо отъ моментовъ измѣреній, и, кромѣ того, когда высоты горизонта у обоихъ береговъ значительно отличаются. Съ этою цѣлью строится кривая измѣненія во времени высотъ горизонта какъ у праваго, такъ и у лѣваго берега рѣки (черт. 177); на этомъ же чертежѣ отмѣчаются моменты начала и




конца наблюденій на каждой вертикали и опредѣляется средняя высота горизонта во время наблюденій, принимая во вниманіе относительное положеніе вертикали по ширинѣ рѣки.

## § 94. ИСПРАВЛЕНІЕ ВЕЛИЧИНЫ РАСХОДА.

Вычисленіе и проведеніе условнаго горизонта (ММ , черт. 176) даетъ возможность перевычислить глубины живого сѣченія относительно этого горизонта. Такъ какъ величина $Q^1 = \Sigma q$ есть только приближенное значеніе расхода, то для вычисленія дѣйствительнаго расхода, соотв. условному горизонту, необходимо, кромѣ исправленныхъ глубинъ, исправить величины среднихъ скоростей по вертикалямъ. Гарлахеръ предложилъ такую зависимость между глубинами вертикали $h_1$ и $h_2$ и средними по ней скоростями $v_1$ и $v_2$ :

$$\frac{v_1}{v_2} = \left(\frac{h_1}{h_2}\right)^{\alpha}, \qquad (174)$$

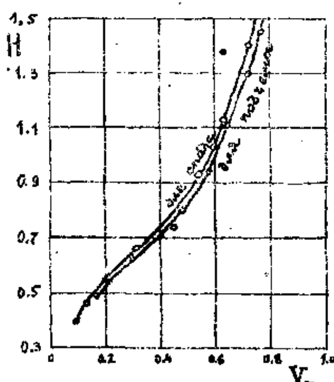
гдѣ α - дробный показатель, величина котораго зависитъ отъ различныхъ условій и измѣняется при измѣненіи горизонта. Какъ первое приближеніе, можетъ быть принято α = 0,5, т.е.

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{h_1}{h_2}}, \qquad (175)$$

нѣсколько точнѣе α = 0,7, хотя, какъ показали изслѣдованія Гарлахера на Дунаѣ, возможны значительныя колебанія этой величины.

## § 95. КРИВАЯ СРЕДНИХЪ СКОРОСТЕЙ ПО ВЕРТИКАЛИ.

Принимая во вниманіе затруднительность точнаго подбора значені показателя степени въ формулѣ (174) для исправленія среднихъ скоростей на отдѣльныхъ вертикаляхъ, слѣдуетъ признать болѣе правильнымъ совершенно иной методъ вычисленія расход при значительныхъ колебаніяхъ горизонта.




(178)

На постоянныхъ скоростныхъ вертикаляхъ (здѣсь особенно ясно подтверждаются достоинства принципа постоянства этихъ вертикалей), независимо отъ измѣренія расхода, опредѣляются значенія среднихъ скоростей по вертикали при различныхъ глубинахъ и строятся кривыя зависимости этихъ величинъ отъ высоты горизонта (черт.178); онѣ нѣсколько отличаются при спадѣ и подъемѣ горизонта. При работахъ на р.Зеѣ вычислялось уравненіе этой кривой,какъ параболы:

$$v = a + bH + cH^2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (176)$$

Когда для всѣхъ вертикалей такая зависимость установлена, то для любого горизонта можетъ быть вычисленъ расходъ, такъ какъ глубины вертикалей при каждомъ горизонтѣ опредѣляются просто.Этотъ способъ является уже переходнымъ къ опредѣленію расхода по „кривой расхода" (см. ниже).

# ГЛАВА XI. ДРУГІЕ МЕТОДЫ ОПРЕДѢЛЕНІЯ РАСХОДА.

## § 96. НЕПОСРЕДСТВЕННОЕ ИЗМѢРЕНІЕ РАСХОДА.

Расходъ небольшихъ ручейковъ, канавъ, ключей, дренажной сѣти и т.п. опредѣляется путемъ непосредственнаго измѣренія объема воды. Для этого вся вода, протекающая въ ручьѣ или вытекающая изъ ключа или устья дренажной сѣти, перехватывается въ какой-нибудь сосудъ. Въ первомъ случаѣ поперекъ ручья или канавы устраивается небольшая запруда или перепадъ; вода, переливающаяся через гребень запруды или порогъ перепада, отводится при помощи лотка въ

измѣрительный сосудъ. При этомъ необходимо соблюдать два условія: чтобы вся вода перехватывалась лоткомъ и чтобы движеніе установилось, напр. надо подождать, пока углубленіе (прудъ) выше запруды заполнится водою.

Размѣры измѣрительнаго сосуда зависятъ отъ величины расхода и требуемой точности ея измѣренія. Расходъ опредѣляется, какъ

$$Q = \frac{a}{t}, \qquad (177)$$

гдѣ a - объемъ воды, собираемый въ продолженіе времени t. Если считать величину a опредѣляемою безошибочно, отнеся ошибки въ счетъ неточнаго измѣренія t, аналогично съ выводомъ формулы (166) можно найти:

$$a = -\frac{Q^2\,dt}{dQ}, \qquad (178)$$

гдѣ dQ - ошибка въ опредѣленіи расхода, за dt примемъ суммарную ошибку въ опредѣленіи времени t, включая сюда неточность опредѣленія моментовъ начала и конца измѣренія, ошибку въ отсчетахъ по секундомѣру или часамъ, а также ошибку въ опредѣленіи величины a.

Если опредѣленіе расхода должно быть сдѣлано съ точностью до 2%, то $dQ = 0{,}02\ Q$; величину dt можно принять равной 1 сек. Тогда

$$a = 50\ Q \qquad (179)$$

Время, необходимое для наполненія сосуда, объемомъ $a = 50\ Q$, будетъ равно:

$$t = 50 \text{ сек.} \qquad (180)$$

При незначительномъ расходѣ можно пользоваться для учета воды ведромъ. (Емкость казеннаго ведра - 0,00126 куб.саж. = 0,434 куб. фут. Повѣрка емкости ведра дѣлается взвѣшиваніемъ ведра, наполненнаго водою. При температурѣ + 13° по Реомюру 1 ведро должно вмѣщать 30 фунтовъ = 12,3 kg. чистой воды). Въ этомъ случаѣ опредѣляется время, необходимое для наполненія ведра:

$$Q = \frac{0{,}00126}{t} \text{ куб. саж.} \qquad (181)$$

Часто измѣрительное ведро дѣлается съ емкостью въ два „казенныхъ" ведра.

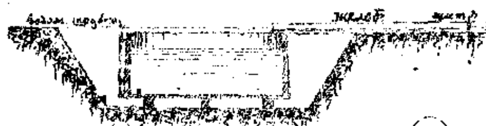
При нѣсколько большей величинѣ расхода примѣняется измѣрительный ящикъ въ формѣ призмы (на горныхъ рѣчкахъ въ Крыму такой ящикъ сооружался изъ бетона ниже порога водослива плотины и снабжался крышкою, отодвигавшеюся на время наблюденія). Вода отводится въ измѣрительный ящикъ въ продолженіе опредѣленнаго времени, напр. 50 сек., и затѣмъ опредѣляется ея объемъ или взвѣшиваніемъ, или постепенно измѣряя ведрами:

$$Q = \frac{a}{50} \text{ куб. саж.} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (182)$$

(Объемъ 1 пуда воды = 0,001685 куб.саж. = 0,578 куб. фут. = = 1,332 ведра). Такой способъ, между прочимъ, примѣняется въ гидравлической лабораторіи Межевого Института: измѣрительный ящикъ, въ который вода поступаетъ изъ лотка черезъ вододѣлительный желобъ, находится на платформѣ вѣсовъ; объемъ воды учитывается взвѣшиваніемъ ящика до опыта и послѣ опыта.

Взвѣшиваніе воды можно замѣнить вычисленіемъ ея объема по извѣстной площади сѣченія измѣрительнаго сосуда и глубинѣ воды. Такъ, на Карамзской гидромодульной станціи въ Закавказьѣ для тарированія водосливовъ (объ этомъ см. ниже) былъ сооруженъ деревянный цилиндрическій резервуаръ, діаметромъ въ 1,6 саж. и высотою въ 0,6 саж. Объемъ воды, притекающей въ бакъ (черт.179) по лотку, опредѣлялся при посредствѣ отсчитыванія горизонта воды въ водомѣрной трубкѣ.

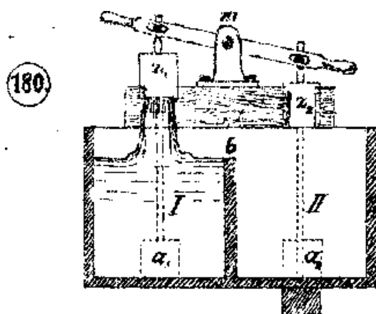
При измѣреніи незначительныхъ расходовъ величину ихъ часто выражаютъ въ десятитысячныхъ доляхъ куб.саж., такъ наз. русскихъ литрахъ (1 куб.саж= 10000 рус.литровъ = 9712 литровъ).

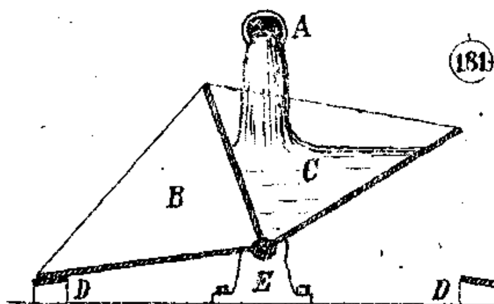


Разрѣзъ тарировочнаго бака въ Карамзахъ.

Вмѣсто того, чтобы увеличивать объемъ измѣрительнаго ящика, можно сдѣлать его двойнымъ (черт. 180). Когда вода, входящая черезъ отверстіе $z_1$, наполнитъ камеру I до высоты стѣнки b, отдѣляющей эту камеру отъ II, закрываютъ отверстіе $z_1$ и открываютъ $z_2$, через которое вода начинаетъ наполнять

камеру II. Одновременно съ этимъ открывается отверстіе $a_1$, черезъ которое вода выливается изъ ящика, и закрывается аналогичное отверстіе $a_2$. Зная объемъ каждаго изъ ящиковъ и число передвиженій рычага m, закрывающаго и открывающаго затворы, можно опредѣлять количество протекшей воды. На черт. 181 схематически изображенъ качающійся водомѣръ Мильне, въ которомъ вода, вытекающая изъ трубы A, наполняетъ поочередно два ящика треугольнаго сѣченія. Когда ящикъ C будетъ наполненъ до края, вѣсъ воды заставитъ его наклониться внизъ, до упора D, вода изъ него будетъ выливаться, а въ то же время будетъ наполняться другой ящикъ B. Число качаній этого прибора учитывается счетчикомъ, а расходъ - по объему ящиковъ и числу наполненій.




## 97. ОПРЕДѢЛЕНІЕ РАСХОДА ПО ВЫСОТѢ УРОВНЯ И ГИДРАВЛИЧЕСКИМЪ ФОРМУЛАМЪ. ВОДЯНЫЕ ДЮЙМЫ.

Кромѣ непосредственнаго метода, для измѣренія расхода небольшихъ ручьевъ, канавъ, ключей и т.п. примѣняются методы вычисленія расхода при истеченіи изъ отверстій, черезъ порогъ водослива и др. Для ключей и устьевъ дренажной сѣти наиболѣе пригодны приспособленія, называемыя „водяными дюймами". Устройство ихъ основано на слѣдующемъ: черезъ небольшое отверстіе въ тонкой стѣнкѣ при постоянномъ напорѣ h (высота уровня воды надъ центромъ тяжести площади отверстія) вытекаетъ опредѣленное количество воды въ секунду. Чтобы измѣрять произвольную величину расхода, дѣлаютъ нѣсколько отверстій различныхъ діаметровъ. Открывая или закрывая часть изъ нихъ, добиваются того, чтобы напоръ имѣлъ опредѣленную величину и оставался постояннымъ за время наблюденія. Тогда расходъ опредѣлится, какъ сумма расходовъ черезъ открытыя отверстія.

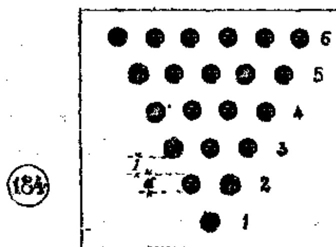
То количество воды, которое вытекаетъ черезъ круглое отверстіе въ тонкой стѣнкѣ діаметромъ въ 1 дюймъ при возможной наименьшей высотѣ напора въ продолженіе 24 часовъ, принято называть водянымъ дюймомъ (около 16 куб.метровъ), отсюда и приборы, устроенные для измѣренія этой постоянной величины, получили то же назва-

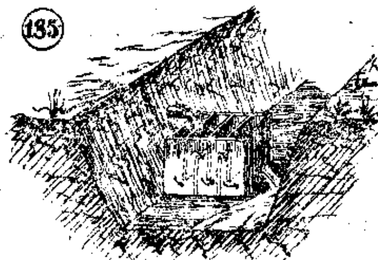



ніе. Новый французскій водяной дюймъ, при h = 40 mm и діаметрѣ отверстія d = 20 mm (черт.182), пропускаетъ въ сутки 20 куб.метр. воды.

Для измѣренія произвольной величины расхода приборы этого типа снабжаются нѣсколькими отверстіями. Водяной дюймъ по Борнеману изготовляется въ видѣ большого ящика, раздѣленнаго перегородками для успокоенія воды. Въ передней стѣнкѣ сдѣлано 7 круглыхъ отверстій съ центрами на одной высотѣ (черт.183). Діаметръ наибольшаго отверстія - около дюйма (26,15 mm.), другія - меньше въ 2,4 и 8 разъ; напоръ поддерживается постоянный - 26,15 mm. Въ ящикъ отводится вода изъ ключа, трубы или др.; закрывая пробками тѣ или другія отверстія, добиваются постоянства горизонта воды въ ящикѣ. Если извѣстенъ расходъ черезъ каждое изъ открытыхъ отверстій, то сумма ихъ дастъ расходъ ключа, дренажа и т.п.

Водяной дюймъ Э.Мангона имѣетъ въ передней стѣнкѣ (черт.184) 21 отверстіе одинаковаго діаметра d = 20 mm., расположенныхъ въ 6 рядовъ, причемъ разстоянія между рядами l равны d. Опредѣленіе



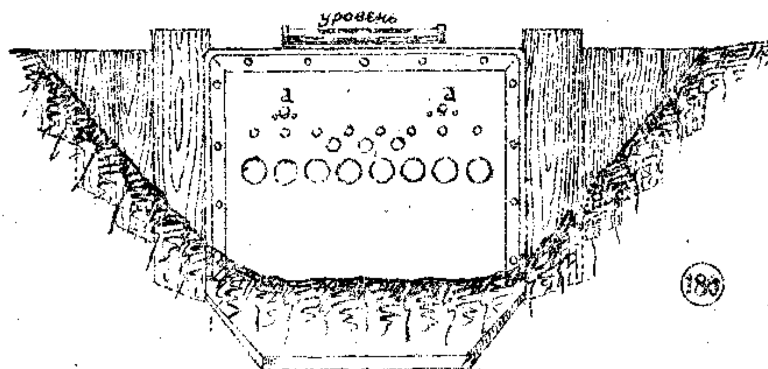



расхода производится постепеннымъ открыванiемъ закупоренныхъ отверстiй до тѣхъ поръ, пока уровень воды въ ящикѣ установится на высотѣ нижней кромки отверстiй вышележащаго ряда. Примѣненiе дюйма Мангона для учета дренажнаго стока видно изъ черт. 185.

При гидротехническомъ изслѣдованiи Нижегородской губ. инж. В.М.Игнатовымъ было сконструировано нѣсколько типовъ водяныхъ дюймовъ – „водомѣровъ", которые могутъ примѣняться даже для опредѣленiя расхода небольшихъ ручьевъ. Водомѣры Игнатова представляютъ изъ себя желѣзные щиты съ рядами отверстiй различнаго дiаметра и съ контрольными трубками на, до которыхъ поддерживается уровень воды при измѣренiи; по нимъ же, а также и по уровню, щитъ устанавливается такъ, чтобы центры отверстiй каждаго ряда находились на одной высотѣ. На черт. 186 указана установка одного изъ типовъ водомѣровъ, воткнутаго заостренной нижней кромкой поперекъ ручья; пространства съ боковъ заполняются досками и щели замазываются глиной.

Какъ извѣстно изъ гидравлики, расходъ воды черезъ небольшое отверстiе въ тонкой стѣнкѣ выражается формулой:

$$Q = \mu F \sqrt{2g.h} \qquad (183)$$



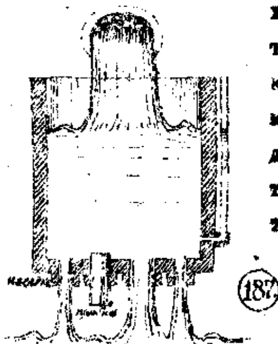

гдѣ F – площадь отверстiя, h – величина напора (высота уровня воды въ сосудѣ надъ центромъ тяжести F), g – ускоренiе силы тяжести (g=9,81 mtr/sec = 4,60 саж./сек.; $\sqrt{2g}$ соотв. равенъ 4,43 для метр. 3,03 для саж.) μ – коэффицiентъ расхода, зависящiй отъ размѣровъ особенностей отверстiя (толщина стѣнки, близость сосѣднихъ отверстiй и т.п. и отъ величины напора; величина μ колеблется отъ 0,60 до 0,75. Обычно Q не вычисляется, а заранѣе величина его опредѣляется для каждаго прибора и каждаго отверстiя или ряда отверстiй „тарированiемъ" или „калиброванiемъ" прибора, заключающимся въ дѣйстви-

тельномъ измѣренія расхода черезъ каждое изъ отверстій, примѣняя непосредственный методъ. Такъ, въ дюймѣ Борнемана открываютъ поочередно по одному отверстію и въ теченіе опредѣленнаго времени перехватываютъ воду въ измѣрительный сосудъ, а напоръ поддерживаютъ все время 26,15 мм. Въ результатѣ вычисляютъ суточный расходъ черезъ каждое изъ отверстій, напр.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| діаметръ отверстія: | 26,15 мм.– | расходъ: | 54,72 | куб.метр.въ 24 часа |
| " | " | 13,08 " | " | 5,44 | " " " " " |
| " | " | 6,54 " | " | 1,41 | " " " " " |
| " | " | 3,27 " | " | 0,39 | " " " " " |

Въ дюймѣ Мангона открываютъ постепенно по одному ряду отверстій, начиная снизу и поддерживая уровень на высотѣ нижней кромки вышележащаго ряда, и каждый разъ опредѣляютъ непосредственнымъ измѣреніемъ расходъ; расходъ черезъ каждое отдѣльное отверстіе получается дѣленіемъ расхода черезъ рядъ отверстій на число ихъ въ этомъ ряду.

Иногда находитъ примѣненіе „гидрометрическое ведро" или „лампада" съ отверстіями въ днѣ, снабженными насадками (трубками) (черт.187); расходъ опредѣляется по высотѣ уровня воды, когда онъ установится, т.е. когда напоръ достигнетъ такой величины, что расходъ черезъ отверстія въ днѣ будетъ равенъ притоку воды въ сосудъ. Калиброваніе дѣлается только для какой-либо одной насадки небольшого діаметра; тотъ же коэффиціентъ расхода принимается для всѣхъ другихъ отверстій; непосредственно же тарировать большія насадки затруднительне и неточно.



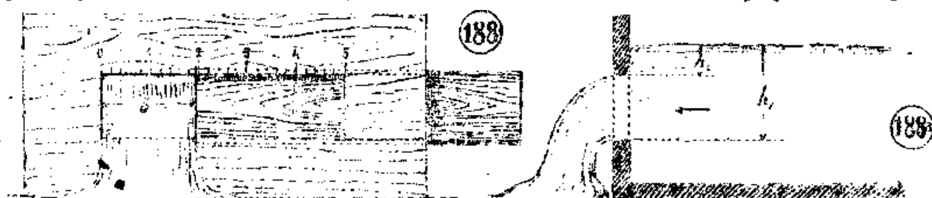

## § 98. ВОДЯНЫЕ МОДУЛИ.

Для учета оросительной воды уже въ 16 вѣкѣ примѣнялся приборъ, основанный на той же идеѣ, что и водяной дюймъ, только приспособленный для большей величины расхода; вмѣсто многихъ отверстій онъ имѣлъ одно прямоугольное, ширина котораго могла измѣняться при посредствѣ боковой задвижки (черт.188) Такъ какъ при уплатѣ за воду для орошенія единицею расхода считали 100 литр. = 0,1 куб. метр. въ сек., и называли ее модулемъ, то и приборы, служившіе для учета этой воды, стали называть „водяными модулями"

Расходъ воды черезъ прямоугольное отверстіе въ тонкой стѣнкѣ (черт.188 а) равенъ:

$$Q = \frac{2}{3}\,\mu b\,\sqrt{2g}\,(h_1^{3/2} - h_2^{3/2}) \;\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (184)$$

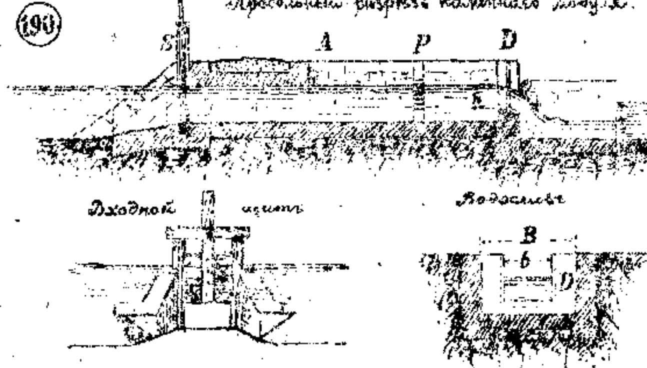
Величина коэффиціента расхода $\mu$ зависитъ отъ размѣровъ отверстія, отъ величины напора и др. Если опредѣлить тарировкой сред-




нее его значеніе при постоянной величинѣ напора, то расходъ можно считать приблизительно пропорціональнымъ ширинѣ отверстія; на кромку отверстія наносятся дѣленія, непосредственно дающія величину расхода по ширинѣ отверстія.

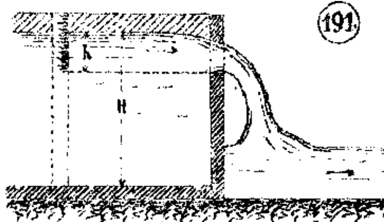
Въ приборѣ системы Понселе выдвигается вверхъ шторка и перемѣнной является высота отверстія (черт. 189).

Большимъ распространеніемъ пользуются до сихъ поръ модули, основанные на опредѣленіи расхода черезъ водосливъ, т.к. въ этомъ случаѣ величина напора можетъ быть меньше и горизонтъ воды приходится поднимать на меньшую высоту, что очень важно въ осушительныхъ и оросительныхъ каналахъ, имѣющихъ незначительные уклоны. Такой модуль представляетъ изъ себя камеру A (черт.190), въ одной изъ стѣнокъ которой устроено той или другой формы отверстіе D, въ противоположной же - входное отверстіе съ регулирующимъ щитомъ S. На разстояніи 1-2 метра отъ водослива D устанавливается рейка P, нуль которой



находится на одной высотѣ съ порогомъ водослива. При посредствѣ щита S въ камеру изъ распредѣлительной канавы впускается только то количество воды, которое дастъ возможность поддерживать въ камерѣ опредѣленную высоту горизонта; при этомъ водосливъ D будетъ пропускать необходимое количество оросительной воды.

Въ зависимости отъ типа водослива для вычисленія расхода примѣняются различныя формулы гидравлики. Наиболѣе точно опредѣляется расходъ водослива „съ незатопленнымъ порогомъ" (порогъ водослива возвышается надъ уровнемъ воды ниже водослива; иногда его называютъ „полнымъ" или „совершеннымъ") и со свободной струей, когда въ пространство между стѣнкою и струей обезпеченъ свободный доступъ воздуха (черт.191).




Когда скорость притеканія воды къ водосливу очень мала и ею можно пренебречь, имѣетъ мѣсто совершенное сжатіе струи (истеченіе происходитъ только подъ вліяніемъ напора) и расходъ можно опредѣлять по формулѣ:

$$Q = \frac{2}{3} \mu b h \sqrt{2gh} \ldots \ldots \ldots \quad (185)$$

гдѣ b есть ширина порога, h - величина напора (разность высотъ поверхности воды выше порога, гдѣ еще не замѣтно вліяніе кривой пониженія уровня, и порога водослива). Значеніе коэффиціента расхода μ по Базену, если отсутствуетъ боковое сжатіе, т.е. ширина порога равна ширинѣ приводящей камеры:

$$\frac{2}{3} \mu = 0,405 + \frac{0.003}{h}, \ldots \ldots \ldots \quad (186)$$

или, по Брашману, при существованіи бокового сжатія (когда ширина камеры B больше b):

$$\frac{2}{3} \mu = 0.384 + 0.039 \frac{b}{B} + \frac{0.00053}{h} \ldots \ldots \quad (187)$$

Если же передъ порогомъ водослива наблюдается замѣтная скорость притеканія (т.наз. несовершенное сжатіе струи), то

$$Q = \frac{2}{3} \mu b \sqrt{2g} \,.\left[(h + k)^{3/2} - k^{3/2}\right], \ldots \ldots \ldots \quad (188)$$

$$k = \frac{v_1^2}{2g} \quad . . . . . . . . . . . . . . . (189)$$

гдѣ $v_1$ – скорость притеканія, замѣняемая воображаемымъ напоромъ $k$. Опредѣленіе скорости притеканія можетъ быть замѣнено включеніемъ въ формулу (185) по Базену коэффиціента:

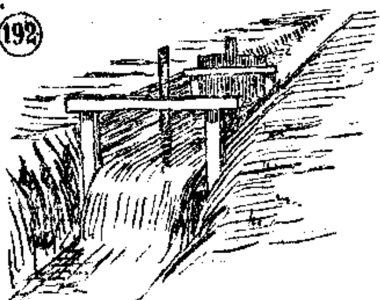
$$m = (1 + 0,55 \frac{h^2}{H^2}) \quad , . . . . . . . . . (190)$$

гдѣ $H$ – полная глубина воды передъ водосливомъ (черт.191). Формула (185) при отсутствіи боковаго сжатія будетъ имѣть слѣдующій видъ:

$$Q = (0,405 + \frac{0.003}{h})(1 + 0,55 \frac{h^2}{H^2}).bh.\sqrt{2gh} \quad . . . . . . . . (191)$$

Для водослива съ прямоугольнымъ отверстіемъ, какъ, напр., изображеннаго на черт. 190, при незначительной скорости притеканія и совершенномъ боковомъ сжатіи, удобнѣе пользоваться формулою Френсиса:

$$Q = \mu\,(b - 0,2h)\,h.\sqrt{2gh} \quad . . . . . . . . . . . . . . (192)$$



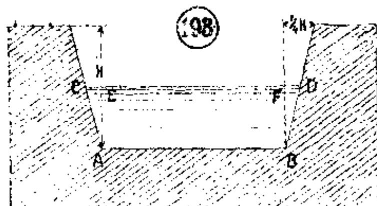
Проще вычисляется $Q$, если ширина порога равна ширинѣ приводящей камеры модуля (черт.192) (отсутствуетъ боковое сжатіе, формулы 185 и 191). При русскихъ гидромодульныхъ изслѣдованіяхъ для водослива этого типа было принято $\mu = 0,48$; соотвѣтственно этому:

$$Q = 0,145\ bh^{3/2} \text{ рус.литр.въ сек.}, . . . . . . . . (193)$$

причемъ $h$ и $b$ должны быть выражены въ сотыхъ доляхъ сажени. На Караязской гидромодульной станціи былъ протарированъ модуль такого типа способомъ, указаннымъ въ § 96. При размѣрахъ модуля: ширинѣ порога $b = 0.20$ саж., глубинѣ камеры передъ порогомъ равной 1/3 $b$ и величинахъ напора отъ 0.01 до 0.05 саж. была опредѣлена величина расхода:

$$Q = 0,150\ bh^{3/2} \text{ рус.литр.въ сек.} . . . . . . . . . . (194)$$

Въ Италіи, С. Штатахъ и въ Россіи пользуется распространеніемъ модуль системы Чиполетти, имѣющій рядъ крупныхъ достоинствъ. На основаніи теоретическихъ и практическихъ изслѣдованій Чиполетти придалъ отверстію водослива форму трапеціи съ коэффиціентомъ откоса граней = 1/4 (черт. 193). При такой формѣ отверстія $\mu$ почти не зависитъ отъ величины напора $h$ (ср. форм. 186). Расходъ воды черезъ два боковыхъ треугольника CEA и FDB замѣняетъ въ этомъ случаѣ уменьшеніе расхода, вызываемое боковымъ сжатіемъ струи (то, что въ формулѣ Френсиса достигается уменьшеніемъ $b$ на $0,2h$).




Формула для водослива Чиполетти примѣняется та же, что и (185), только $\mu$ имѣетъ постоянное значеніе:

$$\mu = 0,623 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (195)$$

и для практики примѣняется формула въ приведенномъ видѣ:

$$Q = 1,8598\ bh^{3/2}$$ куб.метр.въ сек. ($h$ и $b$ выражены въ метр.) (196)

или

$$Q = 0,128\ bh^{3/2}$$ рус.литр.въ сек. ($h$ и $b$ – въ сотыхъ дол.саж.) (197)

При пользованіи водосливомъ Чиполетти величина напора не должна превосходить $^{1}/_{3}\ b$; поэтому для разныхъ величинъ расхода приходится примѣнять модули съ различною шириною порога. Модуль Чиполетти, примѣняемый при гидромодульныхъ изслѣдованіяхъ, конструировался съ шириною $b = 0,10;\ 0,15;\ 0,20;\ 0,30$ и $0,40$ саж. Тарированіемъ такого прибора съ $b = 0,20$ саж. было опредѣлено:

$$Q = 2,6\ h^{3/2}$$ рус.литр.въ сек. ($h$ – въ сотыхъ доляхъ саж.) . . (198)

Если такой модуль долженъ пропустить нѣкоторое количество воды, напр. $Q = 15$ рус.литр. въ сек., то для этого необходимо поддерживать въ камерѣ модуля горизонтъ воды на высотѣ $h = 3,2$ сотыхъ сажени надъ порогомъ водослива.




Въ послѣднее время въ С.Штатахъ, проф. Томсономъ предложенъ водосливъ съ треугольнымъ отверстіемъ (черт.194), коэффиціентъ расхода котораго въ опредѣленныхъ предѣлахъ можно считать постояннымъ.

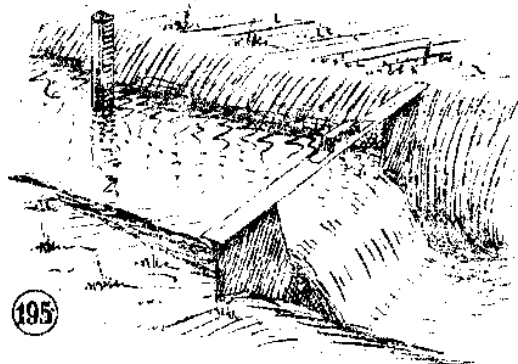
$$Q = 4{,}28.\mu tg\frac{\varphi}{2}.h^{5/2} \text{ (въ футахъ)} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (199)$$

гдѣ $\varphi$ - уголъ у вершины треугольника, $h$ - напоръ надъ вершиною.
Для $\varphi = 90°$ и размѣровъ въ метрахъ:

$$Q = 1{,}4.h^{5/2} \text{ куб.метр.въ сек.} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (200)$$

## § 99. ИЗМѢРЕНІЕ РАСХОДА ВОДЫ ПРИ ПОСРЕДСТВѢ ВОДОСЛИВА.

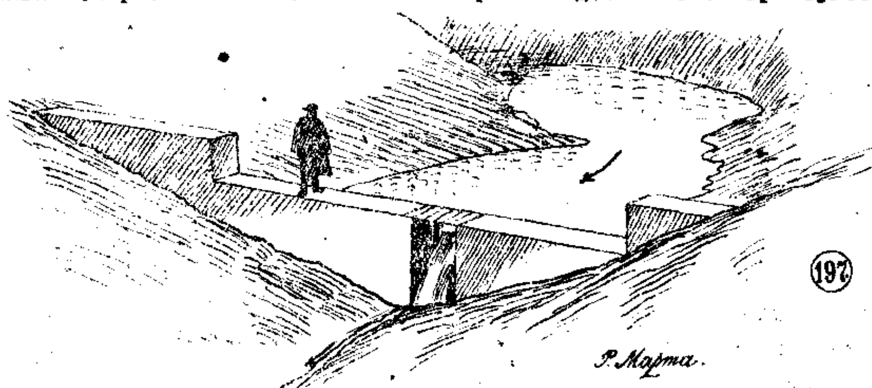
Примѣненіе водослива, указанное въ предыдущемъ §, можетъ имѣть мѣсто не только при распредѣленіи воды въ опредѣленномъ количествѣ, какъ при орошеніи, но и вообще для измѣренія произвольной величины расхода небольшихъ рѣчекъ, канавъ и т.п. Разница съ модулемъ будетъ лишь та, что не нуженъ регулирующій щитъ, и вообще камера модуля. Поперекъ русла сооружается небольшая плотина или просто устанавливается „щитъ" съ готовымъ отверстіемъ (черт. 195); на разстояніи въ 1-2 саж. выше истеченію устанавливаютъ рейку и, когда уровень воды установится (когда заполнится водою углубленіе выше плотины или щита) по высотѣ напора и размѣрамъ отверстія, пользуясь одной изъ формулъ (185-200), вычисляютъ расходъ. Для работы на каналахъ и ручейкахъ щиты съ готовыми отверстіями очень удобны, особенно системы Чиполетти или Томсона, т.к. тогда возможно пользоваться постояннымъ коэффиціентомъ расхода. Щиты съ трапецоидальнымъ отверстіемъ широко примѣняются въ Россіи при гидромодульныхъ изслѣдованіяхъ по орошенію и осушенію. Для этой цѣли изготовляются желѣзные щиты; для устраненія просачиванія воды помимо щита, къ нему прикрѣпляется брезентъ, который покрывается землею или замазывается глиною. Установка нуля рейки дѣлается по ватерпасу или по уровню воды въ тотъ моментъ, когда онъ находится на одной высотѣ съ порогомъ. Проще забить колъ, на который затѣмъ ставится переноснаяреечка.


195

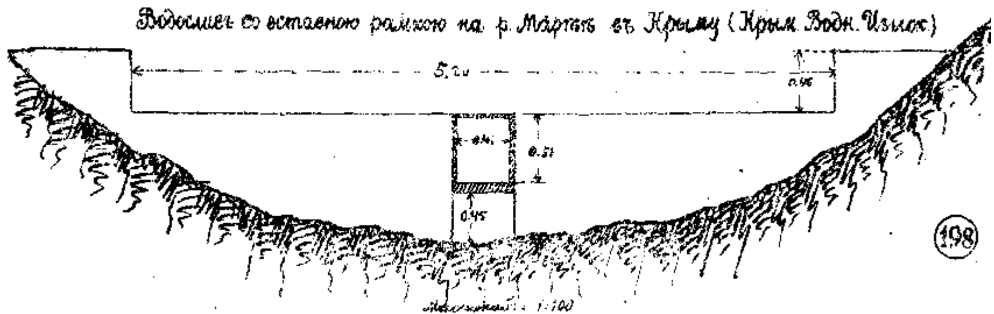



Щитъ можно замѣнить земляною или досчатою перемычкою, вдоль гребня которой устанавливается горизонтально доска со скошеннымъ ребромъ (черт. 196). При незначительныхъ расходахъ, когда напоръ очень малъ и струя „прилипаетъ" къ стѣнкѣ, приходится съуживать ширину отверстія и считаться съ боковымъ сжатіемъ (см. форм. 187).

Широко примѣняется измѣреніе расхода черезъ водосливъ на горныхъ рѣчкахъ въ Крыму. Русло этихъ рѣчекъ состоитъ изъ гальки; значительная часть воды при низкомъ горизонтѣ просачивается въ видѣ подземнаго потока въ отложеніяхъ гальки. Чтобы учесть и эту воду, тамъ сооружаются поперечныя стѣнки-плотины — бетонныя, каменныя или плунтовыя, которыя основываются на водоупорномъ слоѣ. Гребнемъ стѣнки пользуются, какъ водосливомъ, для измѣренія расхода паводковъ, очень частыхъ въ Крыму: расходъ ихъ въ тысячи разъ превышаетъ обычный меженній расходъ воды. У стѣнокъ дѣлаются крылья (черт. 197 и 198) и такимъ образомъ достигается прямоугольное отверстіе.




Для измѣренія небольшихъ меженныхъ расходовъ пользуются болѣе узкимъ отверстіемъ въ стѣнкѣ, въ которое на нѣкоторой высотѣ вставляется металлическая „рамка" съ прямоугольнымъ отверстіемъ (черт. 198) или трапецоидальнымъ, типа Чиполетти. Послѣдній типъ отверстія здѣсь примѣнялся неправильно: величина напора значительно превышала 1/3 ширины порога (ср. § 98), а въ этомъ случаѣ нельзя считать коэффиціентъ расхода постояннымъ. Во время паводка




„рамка" вынимается и отверстіе закрывается щитомъ; вода переливается черезъ гребень стѣнки. Скорость притеканія воды къ водосливу v, которая нерѣдко была значительной, измѣрялась поплавкомъ и вводилась въ вычисленіе въ особомъ коэффиціентѣ e:

$$Q = \mu . e . bh \sqrt{2gh} \text{ , . . . . . . . . . . . . . . (201)}$$

$$e = \sqrt{1 + \frac{v_o^2}{2gh}} \text{ . . . . . . . . . . . . . . (202)}$$

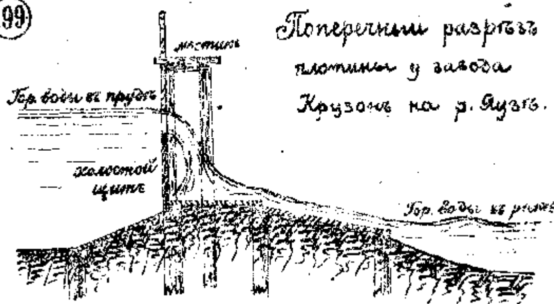
При низкомъ горизонтѣ, если измѣреній не производятъ, отверстіе открываютъ до-низу, во избѣжаніе занесенія наносами пространства выше плотины.

При сооруженіи водосливовъ (напр. въ Швейцаріи) нерѣдко устраиваются особые резервуары (бетонные ящики), служащіе для тарированія водослива, т.е. опредѣленія величины коэффиціента расхода путемъ непосредственнаго измѣренія расхода струи, переливающейся черезъ порогъ водослива и отводимой въ резервуаръ; это же приспособленіе служитъ для измѣренія расхода въ то время, когда вслѣдствіе незначительности напора нельзя пользоваться формулою (185), т.к. струя „прилипаетъ" къ стѣнкѣ.

Если на рѣкѣ имѣется плотина, то можно опредѣлить расходъ воды, переливающейся черезъ гребень ея (водосливная плотина) или вытекающей черезъ щитовыя отверстія (водоподъемныя плотины и водоспуски). Величина напора опредѣляется при помощи нивеллировки, причемъ рейка ставится на колъ, забитый въ уровень съ поверхностью воды на нѣкоторомъ разстояніи отъ плотины, гдѣ еще не замѣтно пониженія поверхности, и поочередно на различныя точки по-

роговъ щитовыхъ отверстій или гребня плотины. Значеніе коэффиціента расхода подбирается въ зависимости отъ условій истеченія, размѣровъ отверстій, величины напора, толщины стѣнокъ и степени ихъ закругленности и т.д.

(199)




Поперечный разрѣзъ плотины у завода Крузонъ на р. Яузѣ.

При опредѣленіи расхода черезъ щитовыя отверстія деревянной водоподъемной плотины у завода Крузонъ (черт.199) на р. Яузѣ во время работъ со студентами Межевого Института въ 1916 г. было принято: $\mu = 0,64$, и формула (185) примѣнялась въ видѣ:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \mu b h \sqrt{2gh} = \frac{2}{3} \mu \sqrt{2g} . b h^{3/2} = a b h^{3/2};$$

$$a = \frac{2}{3} \mu \sqrt{2g} = \frac{2}{3} . 0,64 . 3,03 = 1,29;$$

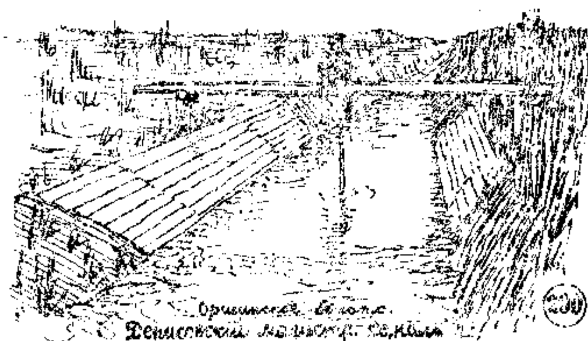
$$Q = 1,29\, b h^{3/2} = 1,29\, b \sqrt{h^3} \text{ куб.саж.въ сек.} \quad . . . (203)$$

Порядокъ записи и вычисленія расхода черезъ каждое изъ открытыхъ щитовыхъ отверстій былъ принятъ слѣдующій:

| № щита | Ширина порога $b$ | Отсчеты по рейкѣ: на порогѣ, л. край | на порогѣ, пр. край | на порогѣ, средн. | у поверхн. воды | Величина напора $h$ саж. | $\sqrt{h^3}$ | $Q = 1,29 b\sqrt{h^3}$ куб. саж. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| IV | 0,65 | 904.5 | 905 | 905 | 751 | 0,154 | 0,0604 | 0,0507 |
| V | 0,66 | 896 | 896.5 | 896 | 751 | 0,143 | 0,0552 | 0,0487 |
| | | | и | т. | д. | | | |

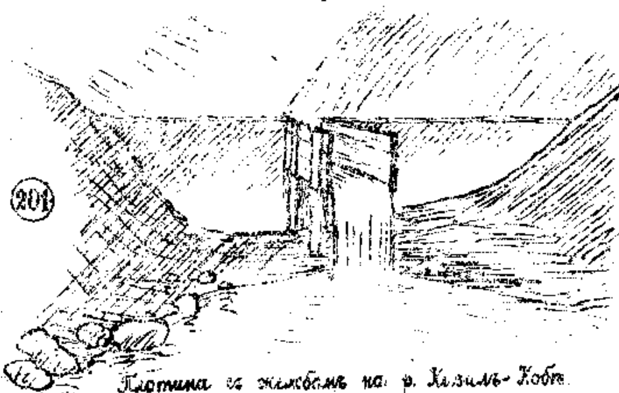
Въ С. Штатахъ часто практикуется измѣреніе расхода большихъ рѣкъ на существующихъ плотинахъ: тамъ измѣряются по частямъ отдѣльные расходы - черезъ гребень плотины, въ водоприводныхъ лоткахъ къ колесамъ и турбинамъ и т.д. По показанію рейки, установленной выше плотины, и числу открытыхъ щитовъ опредѣляются расходы черезъ каждое отверстіе, гребень и т.п. и берется ихъ сумма. Этотъ способъ американцы считаютъ однимъ изъ самыхъ точныхъ.

## § 100. ИЗМѢРЕНІЕ РАСХОДА ВЪ КОНТРОЛЬНОМЪ РУСЛѢ ИЛИ ЛОТКѢ.



Оршанский Бассейн. Денисовский магистр. канал (200)

Для измѣренія расхода воды ускусственныхъ водотоковъ (осушительныхъ и оросительныхъ каналовъ) въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ ничтожный уклонъ не допускаетъ установки водослива, или же размѣры канала велики, - устраиваютъ „контрольныя русла". Съ этою цѣлью откосы и дно канала на нѣкоторомъ протяженіи (5 - 20 саж.) планируются и укрѣпляются деревянною обшивкою (черт. 200) или бетономъ. При нѣсколькихъ различныхъ горизонтахъ производится измѣреніе расхода воды поплавками или вертушкою; по этимъ даннымъ строится кривая зависимости расхода отъ горизонта (см. § 105), которая служитъ затѣмъ для учета расхода по наблюденіямъ надъ горизонтомъ. Достоинствами этого способа являются неизмѣняемость условій, въ частности очертаній профиля дна и отсутствіе подпора воды въ каналѣ, неизбѣжнаго при примѣненіи водосливовъ; „кривая расхода" для правильнаго русла



(201) Плотина съ жолобомъ на р. Кизилъ-Кобе

строится легко.

Такую же цѣль преслѣдуютъ лотки или желоба (черт.201), устраиваемые иногда въ Крыму при плотинахъ (см. § 99); расходъ ихъ при нѣсколькихъ горизонтахъ опредѣляется или непосредственно (сооружаемымъ для этого бетоннымъ измѣрительнымъ ящикомъ (см. §§ 96 и 99) или по измѣренію скоростей батометромъ Глушкова или поплавками.

Точно такимъ же образомъ производятся измѣренія расхода въ мельничныхъ водоприводныхъ лоткахъ.

## § 101. ВЫЧИСЛЕНІЕ РАСХОДА ПО УКЛОНУ И ЖИВОМУ СѢЧЕНІЮ.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ можетъ быть примѣнено опредѣленіе расхода по площади живого сѣченія $F$ и средней для всей этой площади скорости $v_m$:

$$Q = F \cdot v_m \text{ , - - - - - - - - - - - - - - - - - - - (204)}$$

съ вычисленіемъ $v_m$ по продольному поверхностному уклону $i$ и размѣрамъ живого сѣченія - по формулѣ Шези:

$$v_m = c\sqrt{Ri} \text{ - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - (205)}$$

гдѣ $R = \frac{F}{P}$ - гидравлическій радіусъ, т.е. отношеніе площади живого сѣченія къ подводному периметру $P$; $c$ - коэффиціентъ, значенія котораго указаны ниже.

Продольный уклонъ поверхности воды опредѣляется при посредствѣ нивеллировки двухъ точекъ поверхности воды на нѣкоторомъ разстояніи (желателенъ участокъ съ возможно болѣе однообразнымъ характеромъ и уклономъ); въ этихъ точкахъ одновременно забиваются въ уровень съ поверхностью воды колья или дѣлаются отсчеты по установленнымъ водомѣрнымъ рейкамъ или сваямъ (см.§ 114-115) *). Разность отмѣтокъ поверхности воды (паденіе) $H$ дѣлится на разстояніе $L$, измѣряемое по геометрической оси рѣки (см. сноску на стр.127) не ея плану (черт. 202):

---

*) *Гарлахеръ для опредѣленія уклона дѣлалъ при помощи нивеллира отсчеты по рейкамъ, которыя не находились въ вертикальномъ положеніи [illegible] по теченію.*

$$i = \frac{H}{L} \quad \text{. . . . . . . . . . . . . . . (206)}$$

Такъ, если разность отмѣтокъ поверхности воды въ точкахъ A и B = H = 0,23 саж., разстояніе по геометрической оси рѣчки отъ A до B = L = 105 саж., то средній уклонъ рѣчки на участкѣ AB равенъ $i = 0{,}0022$.

(202)

Для опредѣленія величинъ F, P и R на участкѣ AB дѣлаются промѣры ряда поперечныхъ сѣченій. Площадь живого сѣченія каждаго изъ нихъ опредѣляется планиметромъ или вычисляется. Подводный периметръ измѣряется по профилю, если масштабы для горизонтальныхъ и вертикальныхъ разстояній одинаковы, или же опредѣляется вычисленіемъ. При открытомъ руслѣ P равно длинѣ ломаной линіи ABCDEFG; подъ ледянымъ покровомъ въ величину P включается и линія AG, такъ что P въ этомъ случаѣ представляетъ изъ себя периметръ живого сѣченія; на мелкихъ и широкихъ рѣкахъ нерѣдко за величину P принимаютъ ширину поверхности рѣки.

(203)

Для каждаго изъ поперечныхъ сѣченій находится F и P и вычисляется R; часто можно за R принять среднюю глубину водотока, особенно если онъ мелокъ и широкъ. Изъ величинъ F и R берутъ среднія ариеметическія, съ которыми и приступаютъ къ вычисленію расхода.

Для опредѣленія величины коэффиціента c предложенъ цѣлый рядъ формулъ; въ настоящее время лучшими считаются: 1) новая формула Базена и 2) формула Гангилье и Куттера.

1) Новая формула Базена въ общемъ видѣ:

$$c = \frac{87}{k + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}} \quad \text{. . . . . . . . . . . . . . . (207)}$$

k зависитъ отъ единицы мѣръ, принятой при вычисленіи скорости:

для метровъ $k = 1$,
" саженъ $k = 1,461$,
" футовъ $k = 0,552$;

R - гидравлическій радіусъ, $\gamma$ - коэффиціентъ шероховатости, выбираемый въ зависимости отъ состоянія дна и стѣнокъ русла, а въ искусственныхъ руслахъ - отъ рода матеріала, изъ котораго устроено русло. Значеніе $\gamma$ для опредѣленныхъ условій опредѣляется сопоставленіемъ результатовъ вычисленія по формулѣ Базена и измѣренія какимъ-либо способомъ (§ 102); при неимѣніи такихъ данныхъ, берутъ величину $\gamma$ изъ таблицы (см. ниже).

2) формула Гангилье и Куттера въ общемъ видѣ:

$$c = \frac{23 + \frac{0.00155}{i} + \frac{1}{n}}{k + \left(23 + \frac{0.00155}{i}\right)\cdot\frac{n}{\sqrt{R}}} \; ; \quad \ldots\ldots \quad (208)$$

значеніе k - то же, что въ формулѣ (207); n - коэффиціентъ шероховатости, значенія котораго даны ниже; i - поверхн. уклонъ, R - гидравлическій радіусъ.

Въ Россіи, при вычисленіяхъ въ саженяхъ, вмѣсто формулы

$$c = \frac{23 + \frac{0.00155}{i} + \frac{1}{n}}{1{,}461 + \left(23 + \frac{0.00155}{i}\right)\cdot\frac{n}{\sqrt{R}}} \quad \ldots\ldots \quad (209)$$

употребляютъ формулу съ коэффиціентами, раздѣленными на 1,461:

$$c = \frac{15.75 + \frac{0.00106}{i} + \frac{0{,}685}{n}}{1 + \left(15{,}75 + \frac{0.00106}{i}\right)\cdot\frac{n}{\sqrt{R}}} \quad \ldots\ldots \quad (210)$$

(нерѣдко съ неправильными коэффиціентами), несмотря на то, что эта формула требуетъ болѣе сложныхъ подсчетовъ, чѣмъ (209).

## ПРИМѢРНЫЯ ЗНАЧЕНІЯ КОЭФФИЦІЕНТОВЪ ШЕРОХОВАТОСТИ.

| Характеръ русла | γ | n |
|---|---|---|
| 1. Каменистое ложе, неправильной формы; наихудшія условія . . . . . . . . . | - | 0.040 |
| 2. Земляное русло въ плохомъ состояніи, заросшее и заиленное . . . . . . . | 1,75 | 0.030 |
| 3. Земляное русло въ довольно хорошемъ порядкѣ; естеств. русла рѣкъ . . . . | 1.30 | 0.025 |
| 4. Земляное русло въ хорошемъ состояніи | 1.00 | 0.0225 |
| 5. Земляное русло въ наилучшихъ условіяхъ, чистое; мощеныя стѣнки . . . | 0.85 | 0.020 |
| 6. Кирпичная кладка; бутовая кладка; каменная кладка . . . . . . . . . . . | 0.46 | 0.015 |
| 7. Штукатурка, строганое дерево . . . . . | 0.06 | 0.010 |

При вычисленіи расхода воды подо льдомъ, величина n=0.030 до 0.040.

Очень удобно пользоваться для опредѣленія с номограммами (для формулы 208 номограмма составлена авторами формулы, для 207 - Оканемъ): по n, R и i или γ и R легко находится величина c. Примѣнительно къ формулѣ Гангилье и Куттера составлены „Графическія таблицы" подъ ред. Васильева и таблицы Флинна.

П р и м ѣ р ъ. Опредѣленіе расхода рѣчки Копытовка (притокъ р. Яузы) $F_{ср}$ = 0,061 кв. саж.; $P_{ср}$ = 0,838 саж.; $R_{ср}$ = 0,051 саж.; i = 0,0022; n принято равнымъ 0.030; по (209) : c = 12,4; (при γ = 1,75 по Базену c = 9,5); по (205):

$$v_{ср} = 12{,}4 \times \sqrt{0{,}051 \times 0{,}0022} = 0{,}131 \text{ саж.}$$

$$Q = 0{,}061 \times 0{,}131 = 0{,}0080 \text{ куб. саж.}$$

## § 102. ОПРЕДѢЛЕНІЕ КОЭФФИЦІЕНТА ШЕРОХОВАТОСТИ.

Такъ какъ формулами (207) и (208) пользуются при проектированіи оросительныхъ и осушительныхъ канавъ, а для точнаго разсчета пропускной способности канавы, въ связи съ возможнымъ уменьшеніемъ количества земляныхъ работъ, необходимо установленіе величины коэффиціента шероховатости путемъ сравненія съ аналогичными условіями другого мѣста, то эта послѣдняя работа представляетъ одну изъ важныхъ задачъ гидрометрическихъ изслѣдованій. Для опредѣленія значенія коэффиціента шероховатости рѣки, ручья или существующей канавы, опредѣляется однимъ изъ доступныхъ методовъ величина расхода, и, кромѣ того, собираются всѣ тѣ данныя, которыя необходимы для формулы Шези. По извѣстному Q и F опредѣляется средняя скорость:

$$v_m = \frac{Q}{F} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (211)$$

затѣмъ коэффиціентъ $c = \dfrac{v}{\sqrt{Ri}}$,

и, наконецъ, значеніе γ:

$$\gamma = \left(\frac{87\sqrt{Ri}}{v} - k\right)\sqrt{R} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (212)$$

коэффиціентъ же n опредѣляется по номограммѣ.

## § 103. ВЫЧИСЛЕНІЕ РАСХОДА СУХИХЪ РУСЕЛЪ.

При опредѣленіи отверстій мостовъ и др. сооруженій нерѣдко приходится опредѣлять наибольшій возможный расходъ воды въ оврагахъ или лощинахъ, и притомъ въ такое время, когда воды въ нихъ вовсе нѣтъ. По характеру породы, слагающей дно такого русла (крупности частицъ, степени размыванія), можно опредѣлить наибольшую донную скорость $v_o$ которая унесла съ дна всѣ частицы, меньше опредѣленной величины, по значеніямъ скоростей, при которыхъ размываются различныя породы:

| | | |
|---|---|---|
| 1. илистая глина . . . . . . . | $v_o$ = 0,04 саж. | |
| 2. жирная глина . . . . . . . | 0,08 | " |
| 3. крупный рѣчной песокъ . . . | 0,14 | " |
| 4. хрящеватое русло . . . . . | 0,33 | " |

5. каменистое русло . . . . . . . 0,44 саж.
6. скалистое русло . . . . . . . 1,4 "

По донной скорости $v_2$ можно вычислить среднюю скорость $v_m$ по приближенной формулѣ:

$$v_2 = {}^3/_4 \, v_m \quad \ldots\ldots\ldots \quad (213)$$

и приближенную величину расхода; площадь живого сѣченія опредѣляется на основаніи поперечной нивеллировки сухого русла до высоты слѣдовъ, оставляемыхъ потокомъ на скалахъ оврага или лощины (въ особенности льдомъ) и указывающихъ высоту горизонта воды во время дѣятельности потока.

## § 104. ОПРЕДѢЛЕНІЕ РАСХОДА ВОДЫ ПО СПОСОБАМЪ СМѢШЕНІЯ.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ, когда не можетъ быть примѣненъ ни одинъ изъ описанныхъ методовъ опредѣленія расхода, напр. на водопадахъ, порогахъ, горныхъ рѣчкахъ, канавахъ и лоткахъ съ ничтожною глубиною, а также и въ подземныхъ потокахъ, находятъ примѣненіе способы смѣшенія, основанные на томъ, что въ потокъ выпускается равномѣрно въ теченіе нѣкотораго времени струя воды, въ которой растворено какое-либо вещество съ извѣстною степенью концентраціи. Ниже по теченію, когда будетъ достигнуто полное перемѣшиваніе раствора съ водою потока, берутся пробы воды для опредѣленія концентраціи выпущеннаго вещества въ этой водѣ. Если Q - искомый расходъ, q - расходъ раствора, C - крѣпость или степень концентраціи выпускаемаго раствора, c - степень концентраціи пробы воды, взятой изъ рѣки, то существуетъ зависимость:

$$Q \cdot c = q \cdot C \quad \ldots\ldots\ldots \quad (214)$$

а въ томъ случаѣ, когда вода въ рѣкѣ въ естественныхъ условіяхъ содержитъ въ себѣ примѣняемое вещество, концентрація котораго есть $c_1$, то формула (214) имѣетъ видъ:

$$Q\,(c - c_1) = qC \quad \ldots\ldots\ldots \quad (215)$$

расходъ

$$Q = q \cdot \frac{C}{c - c_1} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (216)$$

Для производства измѣреній могутъ примѣняться различныя вещества. Въ С. Штатахъ при опредѣленіи расхода воды черезъ турбины и-

пускался растворъ анилиновой краски (эозина). Относительная степень концентраціи этого красящаго вещества опредѣлялась при помощи дензиметровъ: проба воды вливалась въ стеклянный цилиндръ до такой высоты, чтобы при разсматриваніи ея сверху, окраска ея имѣла такую же интенсивность, какъ въ другомъ цилиндрѣ съ извѣстною концентраціей красящаго вещества: отношеніе высотъ жидкости въ обоихъ цилиндрахъ обратно пропорціонально густотѣ краски. Этотъ способъ носитъ названіе „колориметрическаго".

Болѣе точные результаты получаются при примѣненіи химическаго анализа для опредѣленія концентраціи пробы воды. Для этого примѣняли сѣрную кислоту (вѣсовой анализъ) гипосульфитъ, поваренную соль и др. (объемный анализъ). Удобнѣе, безопаснѣе, дешевле и точнѣе всего примѣнять растворъ поваренной соли, близкій къ насыщенію. Такой „химическій" методъ измѣренія расхода примѣнялся заграницею на небольшихъ быстрыхъ рѣчкахъ, съ расходомъ отъ 0,1 до 0,3 куб.саж. Въ Россіи на р. Волгѣ, въ верхней ея части, въ 1912-13 гг. были поставлены опыты по примѣненію этого способа для рѣкъ съ расходомъ въ 5-6 куб.саж. и со спокойнымъ теченіемъ, гдѣ перемѣшиваніе раствора достигается очень медленно. Для этого изъ большого деревяннаго бака, поставленнаго на Верхневолжскомъ бейшлотѣ (плотинѣ), при посредствѣ сосуда для регулированія расхода, выпускался въ рѣку растворъ поваренной соли. На разстояніи около 2 в. ниже по теченію брали рядъ пробъ воды и опредѣляли при помощи азотнокислаго серебра (т.наз. титрованіемъ) содержаніе соли. Когда концентрація достигала максимума, опредѣлялось необходимое для вычисленія с. Чтобы облегчить работу, для опредѣленія момента взятія пробы, примѣнялся методъ опредѣленія концентраціи по электропроводности раствора при помощи „мостика Уитстона" или др. Впослѣдствіи этимъ способомъ стали пользоваться и для точнаго опредѣленія концентраціи пробы воды, взятой изъ рѣки, послѣ выпариванія въ лабораторіи. Послѣдній способъ, наз. „электрохимическимъ", далъ величину расхода, при сравненіи съ результатами одновременнаго измѣренія вертушкой, съ точностью до 0,4%; на это потребовалось около 7 пуд. соли на 1 куб. саж. расхода (химическій способъ при этихъ же условіяхъ даетъ точность до 2%).

Химическій способъ примѣнялся также въ 1913 г. для опредѣленія расхода источниковъ въ Семирѣченской области, съ тою лишь разницею, что растворъ (хлора) выливался мгновенно, а не равномѣрно, и одновременно пускался поплавокъ; на нѣкоторомъ разстояніи, тотчасъ послѣ

прохода поплавка, изъ потока бралось 5 пробъ черезъ равные промежутки времени t; расходъ источника опредѣлялся, какъ

$$Q = \frac{C}{c_m \cdot t}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 216)$$

гдѣ $c_m$ – средняя крѣпость пяти пробъ.

Опыты на Верхней Волгѣ доказали полную пригодность химическаго метода даже для сравнительно большихъ рѣкъ; для порожистыхъ же участковъ, а также во время ледохода, сильнаго вѣтра и т.д. только этотъ методъ и можетъ дать точные результаты. Особенно цѣненъ этотъ способъ тамъ, гдѣ можетъ быть использовано различіе естественнаго химическаго состава двухъ потоковъ, напр. когда въ рѣку впадаетъ притокъ съ соленой водой. Въ этомъ случаѣ расходъ меньшаго потока измѣряется (напр. небольшого ручья или ключа – непосредственнымъ методомъ) и опредѣляется концентрація примѣси въ обоихъ потокахъ до ихъ сліянія и ниже по теченію, послѣ ихъ перемѣшиванія.

Точно также при сліяніи двухъ потоковъ съ различной температурой можетъ быть примѣненъ „термическій" способъ опредѣленія расхода, основанный на тѣхъ же соображеніяхъ. Пусть расходъ одного потока – $Q_1$ и температура воды – $t_1$, другого – $Q_2$ и $t_2$, температура воды ниже мѣста сліянія – $t$ и расходъ $Q = Q_1 + Q_2$, тогда:

$$Q_1 t_1 + Q_2 t_2 = Qt = (Q_1 + Q_2)\, t\,.$$

Если расходъ $Q_2$ измѣрить, то расходъ $Q_1$ опредѣлится изъ равенства:

$$Q_1 = Q_2 \cdot \frac{t - t_2}{t_1 - t}\,,$$

и общій расходъ

$$Q = Q_2\,(1 + \frac{t - t_2}{t_1 - t}) = Q_2 \cdot \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t} \quad \ldots\ldots \quad (217)$$

Этотъ методъ удобно примѣнять на горныхъ рѣчкахъ при наличіи горячихъ ключей.

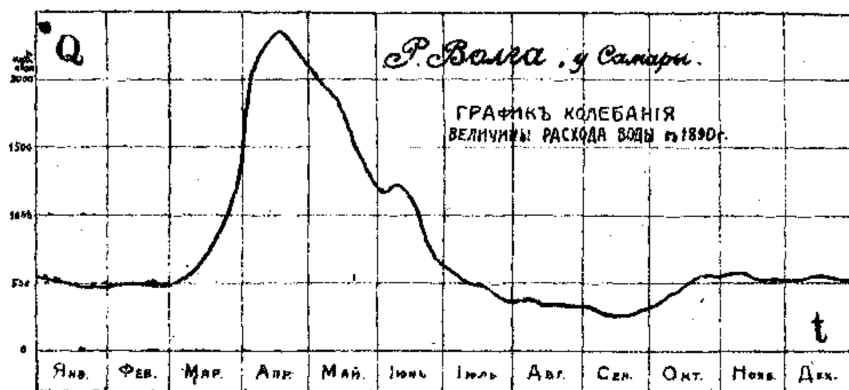
Слѣдуетъ отмѣтить характерную особенность описанныхъ способовъ по сравненію съ другими методами опредѣленія расхода воды: способы смѣшенія не требуютъ ни промѣровъ живого сѣченія, ни измѣренія скоростей теченія; въ этомъ отношеніи они являются наиболѣе опасными конкуррентами даже для способовъ измѣренія расхода гидрометрическими приборами.

## ГЛАВА XII. ЗАВИСИМОСТЬ РАСХОДА ВОДЫ ОТЪ ИЗМѢНЕНІЙ ГОРИЗОНТА.

### § 105. КОЛЕБАНІЯ РАСХОДА ПО ВРЕМЕНИ.

Расходъ воды въ каждомъ поперечномъ сѣченіи водотока есть величина перемѣнная, зависящая отъ условій питанія атмосферными и подземными водами и потерь на испареніе и просачиваніе, а также отъ воздѣйствія культуры (дѣйствіе водохранилищъ, изъятіе воды на орошеніе и водоснабженіе, регулированіе русла и т.п.).

Естественный водный режимъ водотока тѣснѣйшимъ образомъ связанъ съ колебаніями метеорологическихъ элементовъ, какъ вѣковыми, такъ и годичными и даже суточными. Разнообразіе факторовъ, оказывающихъ вліяніе на величину расхода воды, непостоянство ихъ распредѣленія по времени и мѣсту, а также различная скорость распространенія вызываемыхъ этими факторами явленій, - все это отражается на колебаніяхъ расхода. На основаніи періодическихъ, напр. ежедневныхъ, измѣреній расхода можетъ быть построенъ графикъ колебанія расхода по времени



(204)

(черт.204), играющій большую роль при изученіи режима водотока. Сложность, нерѣдко значительная продолжительность и стоимость измѣреній расхода воды, а иногда даже невозможность этихъ измѣреній (атмосферныя условія, ледоходъ, отсутствіе надлежащаго техническаго персонала) побуждаетъ обратиться къ болѣе простымъ способамъ полученія необходимаго для гидролога графика колебанія расхода по времени. Наиболѣе простымъ средствомъ являются водомѣрныя наблюденія (гл.XIII), въ общемъ несложныя, заключающіяся въ періодическихъ отсчетахъ высо-

ты уровня воды (рѣже - также поверхностнаго уклона) или въ автоматической регистраціи этой высоты. По немногочисленнымъ дѣйствительнымъ измѣреніямъ расхода находится возможно болѣе простая зависимость между высотою горизонта и величиною расхода, которая далѣе даетъ возможность болѣе или менѣе приближенно опредѣлять расходъ при любой высотѣ горизонта. Въ основѣ такого способа лежитъ гипотеза установившегося движенія и условіе неизмѣняемости русла; при движеніи неустановившемся, когда происходитъ увеличеніе или уменьшеніе величины расхода, зависимость должна быть иной. При одной и той же высотѣ горизонта (слѣд. и площади живого сѣченія F) въ зависимости отъ различныхъ обстоятельствъ (уклонъ, подпоръ, температура и составъ воды, присутствіе льда въ томъ или другомъ видѣ и т.п.) можетъ имѣть различное значеніе средняя скорость $v_m$, а слѣдовательно и расходъ, т.к. $Q = F \cdot v_m$. Въ русской практикѣ, для возможнаго упрощенія зависимости между горизонтомъ воды и расходомъ, вліяніе всѣхъ указанныхъ факторовъ игнорируется, и въ результатѣ гидрометрическихъ работъ опредѣляется однообразная зависимость для открытаго русла; рѣже находится другая для водостока подъ ледянымъ покровомъ.

## § 106. ГРАФИЧЕСКІЙ МЕТОДЪ ПОСТРОЕНІЯ КРИВОЙ РАСХОДА.

Зависимость между высотою горизонта воды и величиною расхода наиболѣе просто изображается въ видѣ „кривой расхода". Для построенія этой кривой по ординатамъ - отмѣткамъ горизонта и абсциссамъ - значеніямъ расхода воды - строится рядъ точекъ, причемъ масштабы выбираются такъ, чтобы общее направленіе расположенія этихъ точекъ было близко къ биссектриссѣ угла между осями координатъ. Если точекъ немного, то черезъ нихъ проводится плавная кривая, близкая къ параболѣ, при значительномъ же числѣ измѣреній построенныя точки располагаются полосою; на этомъ сказывается, кромѣ ошибокъ въ измѣреніяхъ, игнорированіе другихъ факторовъ, отъ которыхъ зависитъ величина расхода. Въ послѣднемъ случаѣ полученныя точки дѣлятъ на рядъ интерваловъ, напр. черезъ опредѣленные промежутки по высотѣ, или какъ-нибудь иначе. Для каждаго интервала опредѣляется среднее ариѳметическое какъ абсциссъ, такъ и ординатъ, и по этимъ даннымъ строится точка, замѣняющая собою всѣ точки даннаго интервала (она является центромъ тяжести этихъ точекъ); черезъ полученныя „среднія" точки обыкновенно и проводится кривая расхода.

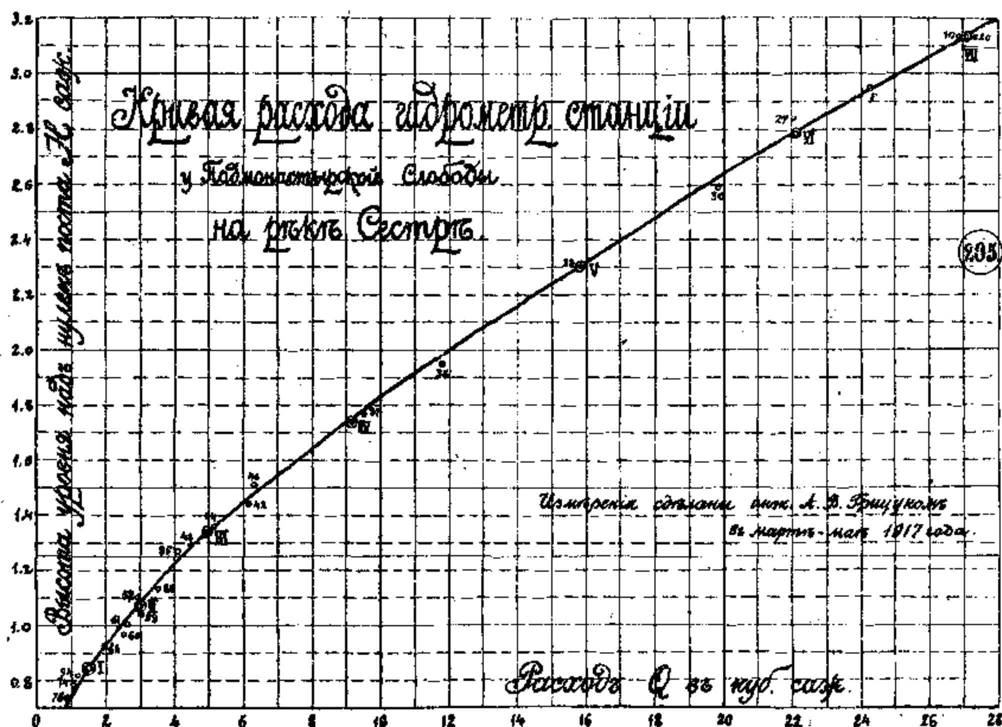
Въ качествѣ примѣра разработанъ рядъ (избранныхъ) измѣренiй расходовъ р. Сестры у Подмонастырской Слободы (Моск. губ.) весною 1917 г. Для разбивки на интервалы данныя расположены по возрастающимъ высотамъ горизонта.

| № по пор. | № расхода | Отмѣтка горизонта воды $H$ | Расходъ въ сек. $Q$ куб. с. | № интервала | Средняя отмѣтка $H_m$ | Среднiй расходъ $Q_m$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 76 | 0.73 | 0.86 | I | 0.844 | 1.516 |
| 2 | 74 | 0.78 | 1.05 | | | |
| 3 | 94 | 0.82 | 1.18 | | | |
| 4 | 68 | 0.92 | 1.98 | | | |
| 5 | 60 | 0.97 | 2.51 | | | |
| 6 | 61 | 1.00 | 2.60 | II | 1.068 | 2.998 |
| 7 | 58 | 1.04 | 3.00 | | | |
| 8 | 57 | 1.10 | 2.90 | | | |
| 9 | 80 | 1.13 | 3.49 | | | |
| 10 | 85 | 1.27 | 4.01 | III | 1.340 | 4.940 |
| 11 | 48 | 1.29 | 4.44 | | | |
| 12 | 44 | 1.36 | 5.16 | | | |
| 13 | 42 | 1.44 | 6.15 | | | |
| 14 | 40 | 1.51 | 6.31 | IV | 1.743 | 9.190 |
| 15 | 37 | 1.77 | 9.46 | | | |
| 16 | 36 | 1.95 | 11.80 | | | |
| 17 | 33 | 2.30 | 15.80 | V | 2.300 | 15.800 |
| 18 | 30 | 2.59 | 19.85 | VI | 2.793 | 22.053 |
| 19 | 27 | 2.84 | 22.02 | | | |
| 20 | 5 | 2.95 | 24.29 | | | |
| 21 | 10 | 3.14 | 26.91 | VII | 3.140 | 27.125 |
| 22 | 20 | 3.14 | 27.34 | | | |

Расположенiе 22 точекъ, а также 7 среднихъ точекъ, черезъ которыя проведена кривая расхода, видно изъ черт. 205.

Графическiй методъ, при всей своей простотѣ, обладаетъ тѣмъ недостаткомъ, что проведенiе плавной кривой нѣсколько произвольно, особенно при небольшомъ числѣ измѣренiй; поэтому обыкновенно параллельно съ построенiемъ кривой расхода примѣняется исправленiе ея

при посредствѣ графическаго изображенія уравненія кривой, вычисленнаго по одному изъ излагаемыхъ способовъ.




## § 107. АНАЛИТИЧЕСКІЙ МЕТОДЪ. УРАВНЕНІЯ КРИВОЙ РАСХОДА.

Если при высотѣ горизонта $H_1$, $H_2$, $H_3$..... измѣрены соотв. величины расхода $Q_1$, $Q_2$, $Q_3$......, то для выраженія зависимости между этими величинами - $Q = f(H)$ - ближе всего подходитъ уравненіе параболы какой-нибудь степени, общій видъ котораго:

$$Q = A\,(B + H)^n + C \text{ , . . . . . . . . . . . . . } (218)$$

гдѣ A, B и C - коэффиціенты, которые необходимо опредѣлить изъ ряда измѣреній. Въ виду сложности уравненія (218), оно находитъ примѣненіе только при n = 2, т.е. когда кривая расхода принимается за параболу второго порядка:

$$Q = A\,(B + H)^2 + C \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (219)$$

Уравненіе (219) обычно примѣняется въ преобразованномъ видѣ:

$$Q = a + bH + cH^2 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (220)$$

Для парабола иного порядка на практикѣ примѣняютъ нѣсколько облегченное уравненіе:

$$Q = A\,(B + H)^m \; , \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (221)$$

которое можно еще упростить, опредѣливъ ту отмѣтку горизонта $H_1$, при которой движеніе воды прекратится. (Гарлахеръ и Тейберъ эту отмѣтк опредѣляли на основаніи промѣровъ участка рѣки ниже по теченію отъ створа, изслѣдованія перекатовъ и т.п.):

$$Q_0 = A\,(B + H_1)^m = 0$$

$$B = - H_1$$

$$Q = A\,(H - H_1)^m \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (222)$$

Величину коэффиціента m можно приближенно подобрать, сообразуясь съ формою поперечнаго сѣченія. Такъ, для прямоугольнаго сѣченія съ шириною b и глубиною h величина расхода $Q = bh\,v_m$; при вычисленіи $v_m$ хотя бы по формулѣ Шези (205) можно допустить, что при большомъ значеніи ширина b по сравненію съ глубиною воды гидравлическій радіусъ можетъ быть замѣненъ h;

$$Q = bh \,.\, c\,.\sqrt{hi} = Ah^{3/2} \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (223)$$

или вообще, при прямоугольномъ руслѣ:

$$Q = A\,(B + H)^{3/2} \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (224)$$

Такъ же можно доказать, что для треугольнаго русла (ср. форм. 200):

$$Q = A\,(B + H)^{5/2} \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (225)$$

и для параболическаго (парабола 2 степени):

$$Q = A\,(B + H)^2 \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (226)$$

Въ общемъ величина показателя степени параболы колеблется въ предѣлахъ отъ 3/2 до 3; извѣстны, напр., слѣдующія уравненія кривыхъ расхода:

для Нила: $Q = 883\ (H + 1{,}1)^{1{,}6}$ въ фут. (по Уилькоксу) . . . . (227)

для Сыръ-Дарьи: $Q = 8{,}49\ (H + 1{,}237)^{3}$ въ саж. (по Глушкову) (228)

Для болѣе точнаго вычисленія m проф. Глушковъ *) предлагаетъ нѣсколько способовъ, въ томъ числѣ логариѳмическій: уравненіе (221) логариѳмируется:

$$\lg Q = \lg A + m \lg (B + H), \quad \dots\dots\dots \quad (229)$$

и приводится къ линейному виду надлежащимъ подборомъ постояннаго B (т.к. горизонтъ воды измѣряется отъ произвольнаго нуля); для этого съ построенной приближенно кривой расхода (черт. 205) берутся координаты двухъ произвольныхъ точекъ вблизи начала и конца кривой ($Q_1$, $H_1$ и $Q_3$, $H_3$) и третьей ($Q_2$, $H_2$), выбираемой такъ, чтобы $Q_2 = \sqrt{Q_1 Q_3}$; тогда B опредѣлится изъ формулы:

$$B = \frac{H_2^2 - H_1 . H_3}{H_1 + H_3 - 2H_2} \quad \dots\dots\dots \quad (230)$$

Послѣ подстановки найденнаго значенія B въ уравненіе (229), аналогично съ построеніемъ (205) намѣчается прямая, выражающая зависимость между $\lg Q$ и $\lg (B + H)$, и вычисляются коэффиціенты ея уравненія (см. стр. 35 и 39); m равно тангенсу угла, образуемаго прямою съ осью абсциссъ, $\lg A$ равенъ длинѣ отрѣзка на оси ординатъ. При построеніи прямой очень удобно пользоваться „логариѳмическою клѣтчаткою", чтобы не находить логариѳмовъ Q и (B + H).

Когда значеніе показателя такъ или иначе подобрано или вычислено и округлено, вычисленіе коэффиціентовъ уравненія (221) проще всего достигается извлеченіемъ корня m-ой степени изъ обѣихъ частей уравненія:

$$\sqrt[m]{Q} = \sqrt[m]{A}\,(B + H) = \sqrt[m]{A}\,.\,B + \sqrt[m]{A}\,.\,H \quad \dots\dots\dots \quad (231)$$

или

$$\sqrt[m]{Q} = M + NH; \quad \dots\dots\dots \quad (232)$$

слѣдовательно, зависимость между $\sqrt[m]{Q}$ и H — прямолинейная и точки, построенныя по ординатамъ H и абсциссамъ $\sqrt[m]{Q}$, расположатся по прямой

*) Къ вопросу о построеніи кривыхъ расходовъ воды и вообще эмпирическихъ кривыхъ вида $y = a\,(b + x)^m$ или $x = A + By^n$. (Матеріалы, вып. Гидромѣтр. Ч. Вод. Р. Вып. 25).

(232), коэффиціенты которой могутъ быть опредѣлены или графически, или по способу наименьшихъ квадратовъ.

По приведеннымъ выше цифровымъ даннымъ (7 „среднихъ" точекъ кривой расхода) здѣсь, въ качествѣ примѣра, вычислены уравненія кривой расхода во всевозможныхъ формахъ.

I. Уравненіе типа (220); приближенный способъ. Съ построенной приближенной кривой расхода (черт. 205) взяты координаты трехъ произвольныхъ точекъ:

| | | |
|---|---|---|
| 1 . . . . . . | H = 1,0; | Q = 2,45; |
| 2 . . . . . . | H = 2,0; | Q = 12,10; |
| 3 . . . . . . | H = 3,0; | Q = 25,05. |

Послѣ подстановки этихъ координатъ въ уравненіе (220) получаются три уравненія первой степени съ тремя неизвѣстными:

$$2,45 = a + 1,0\,b + 1,0\,c;$$
$$12,10 = a + 2,0\,b + 4,0\,c;$$
$$25,05 = a + 3,0\,b + 9,0\,c;$$

откуда:

$$a = -4,90;\quad b = 6,20,\quad c = 1,15,$$

и уравненіе приметъ видъ:

$$Q = -4,90 + 6,20\,H + 1,15\,H^2 \quad \text{. . . . . . . . . . . (233)}$$

II. То же уравненіе. Рѣшеніе по способу наименьшихъ квадратовъ (такъ, чтобы сумма квадратовъ отклоненій величины Q, вычисленной по уравненію, отъ измѣренной, была наименьшая) сводится къ опредѣленію неизвѣстныхъ изъ уравненій:

$$c = \frac{n(\Sigma H^2.\Sigma H^2Q - \Sigma H^3.\Sigma HQ) + \Sigma H(\Sigma H^2\Sigma HQ - \Sigma H.\Sigma H^2Q) + \Sigma Q[\Sigma H.\Sigma H^3 - (\Sigma H^2)^2]}{\Sigma H^2[n\Sigma H^4 - (\Sigma H^2)^2 + 2\Sigma H.\Sigma H^3] - n.(\Sigma H^3)^2 - (\Sigma H)^2.\Sigma H^4}$$

$$b = \frac{n\Sigma HQ - \Sigma H.\Sigma Q + c.(\Sigma H.\Sigma H^2 - n\Sigma H^3)}{n\Sigma H^2 - (\Sigma H)^2} \qquad (234)$$

$$a = \frac{\Sigma Q - b\Sigma H - c\Sigma H^2}{n}$$

Въ данномъ примѣрѣ:

$$\Sigma H = 13,228 \qquad \Sigma Q = 83,622$$
$$\Sigma H^2 = 29,638 \qquad \Sigma HQ = 210,226$$
$$\Sigma H^3 = 74,434 \qquad \Sigma H^2Q = 564,346$$
$$\Sigma H^4 = 200,311 \qquad n = 7 \text{ (число уравненій).}$$

Значенія неизвѣстныхъ:

$$c = +1,814; \quad b = +4,046; \quad a = -3,380$$
$$Q = -3,380 + 4,046\,H + 1,814\,H^2 \quad \ldots\ldots\ldots \quad (235)$$

III. Уравненіе типа (221) по способу извлеченія корня (231 и 232); m = 2. На черт. 206 построена зависимость между $H$ и $\sqrt{Q}$ (линія 1); для опредѣленія коэффиціентовъ уравненія (232) подставимъ въ него значенія $Q$ и $H$:

$$1,231 = M + 0,844\,N;$$
$$1,731 = M + 1,068\,N;$$
$$2,223 = M + 1,340\,N;$$
$$3,032 = M + 1,748\,N;$$
$$3,975 = M + 2,300\,N;$$
$$4,696 = M + 2,793\,N;$$
$$5,207 = M + 3,140\,N;$$

и рѣшимъ ихъ по способу наименьшихъ квадратовъ:

$$N = \frac{n.\Sigma H\sqrt{Q} - \Sigma\sqrt{Q}.\Sigma H}{n\Sigma H^2 - (\Sigma H)^2}$$
$$M = \frac{\Sigma\sqrt{Q} - \Sigma H\,.\,N}{n} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (236)$$

Въ данномъ примѣрѣ:

$$\Sigma H = 13,228 \qquad \Sigma\sqrt{Q} = 22,095$$
$$\Sigma H^2 = 29,638 \qquad \Sigma H\sqrt{Q} = 49,760$$
$$n = 7 \text{ (число уравненій)}$$

откуда:

$$N = 1,725; \; M = -0,103; \; \sqrt{Q} = -0,103 + 1,725\,H \quad . (237)$$

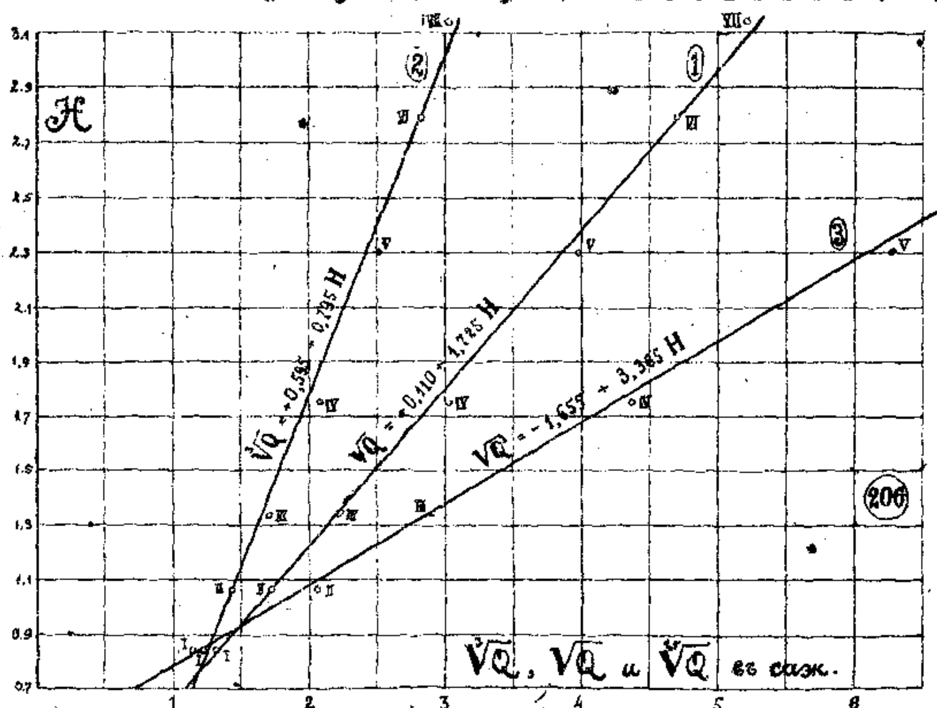
Изъ (231) и (232):

$$N = \sqrt{A}\ ;\quad A = N^2 = 2{,}975\ ,$$

$$M = \sqrt{A}.B\ ;\quad B = \frac{M}{N} = -\ 0{,}060\ ,$$

и уравненіе:

$$Q = 2{,}975\ (H - 0{,}060)^2 \quad \ldots\ldots\ldots \quad (238)$$




IV. Такое же построеніе (черт. 206,2) и вычисленіе сдѣлано при n = 3 ;

$$\sqrt[3]{Q} = +\ 0{,}595 + 0{,}795\ H \quad \ldots\ldots\ldots \quad (239)$$

$$Q = 0{,}502\ (0{,}747 + H)^3 \quad \ldots\ldots\ldots \quad (240)$$

Построеніе линій (2) и (3) (см. черт. 206) значительно облегчается при пользованіи специальной клѣтчаткой, на которой нанесены квадратные или кубичные корни, т.к. не приходится извлекать корни. На практикѣ черезъ рядъ полученныхъ точекъ проводится на-глазъ (или съ помощью нитки) прямая, наиболѣе близкая къ построеннымъ точкамъ, и коэффиціенты ея вычисляются по координатамъ двухъ какихъ-нибудь точекъ очень просто.

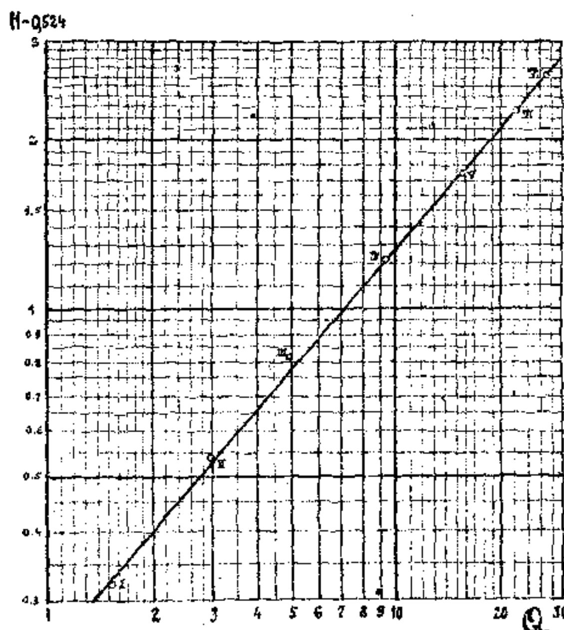
V. Логариѳмическій способъ (черт. 229). Съ чертежа (205) беремъ координаты трехъ точекъ:

$$1 \ldots\ldots Q_1 = 3{,}0 ;\ H_1 = 1{,}08 ;$$
$$2 \ldots\ldots Q_3 = 27{,}0 ;\ H_3 = 3{,}14 ;$$
$$3 \ldots\ldots Q_2 = \sqrt{Q_1 Q_3} = 9{,}0 ;\ H_2 = 1{,}73 .$$

По формулѣ (230):

$$B = -\ 0{,}524 ,$$

$$\lg Q = \lg A + m \ .\ \lg (H - 0.524) \ldots\ldots\ldots (241)$$




По величинамъ lgQ и lg (H − 0,524) на обыкновенной клѣтчаткѣ или Q и (H − 0.524) на логариѳмической клѣтчаткѣ (черт. 207) намѣтимъ рядъ точекъ, черезъ которыя проведемъ прямую. Для вычисленія коэффиціентовъ ея уравненія, возьмемъ координаты двухъ произвольныхъ точекъ:

1....H-0.524=0.30; Q = 1,86,
2....H-0.524=0.80; Q =30,00,

и подставимъ ихъ въ уравненіе (241):

$$0{,}1835 = \lg A - 0{,}5229\ m ;$$
$$1{,}4771 = \lg A + 0.4472\ m ;$$

откуда:

$$m = +\ 1{,}384 ,$$
$$\lg A = 0{,}8582 ,$$
$$A = +\ 7{,}215 ,$$

уравненіе кривой расхода будетъ:

$$Q = +\ 7{,}215\ (H - 0{,}524)^{1{,}384} \ldots\ldots\ldots (242)$$

VI. Показатель степени, вычисленный въ предыдущемъ примѣрѣ.

округлено до 1,5; аналогично съ приведенными выше способами (черт. 206,3) или же логарифмическимъ путемъ, подставляя въ уравненіе (229 координаты двухъ произвольныхъ точекъ кривой (черт. 205), напр.

1 . . . . . $Q = 3{,}0$ ; $H = 1{,}08$ ;
2 . . . . . $Q = 27{,}0$ ; $H = 3{,}14$ ;

и вычисляя A и B изъ уравненій:

$$\lg 3 = \lg A + 1{,}5 \lg (B + 1{,}08) ;$$
$$\lg 27 = \lg A + 1{,}5 \lg (B + 3{,}14) ;$$

получимъ:

$$B = -0.462 ,$$
$$A = +6.166 ,$$

и уравненіе:

$$Q = +6{,}166 (H - 0.462)^{1{,}5} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (243)$$

VII. Если принять, что для данныхъ условій расходъ будетъ равенъ нулю, когда $H = 0$, т.к. въ приведенномъ примѣрѣ счетъ высотъ идетъ отъ самой глубокой точки дна, по формулѣ (222):

$$Q = AH^m \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (244)$$

При $m = 2$, по способу наименьшихъ квадратовъ:

$$A = \frac{\Sigma Q}{\Sigma H^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (245)$$

$$A = \frac{83{,}622}{29{,}638} = +2{,}821 ;$$

$$Q = +2{,}821 H^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (246)$$

Наиболѣе точными являются способы II, III и V, изъ нихъ проще другихъ III; на практикѣ чаще всего примѣняется способъ I и графическій.

## § 108. ПОСТРОЕНІЕ КРИВОЙ РАСХОДА ПРИ НЕДОСТАТОЧНОМЪ ЧИСЛѢ ИЗМѢРЕНІЙ.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ, особенно при непродолжительныхъ „летучихъ" изслѣдованіяхъ, напр. при жел.-дор. изысканіяхъ, когда измѣряютъ всего лишь нѣсколько расходовъ при случайныхъ горизонтахъ, не охватывающихъ собою предѣловъ колебаній въ теченіе года, могутъ быть примѣнены приближенные способы построенія или вычисленія кривой расхода, которая дастъ во всякомъ случаѣ лучшіе результаты, чѣмъ произвольная экстраполяція.

Прежде всего, на основаніи промѣровъ и построенія профиля створнаго сѣченія вычерчивается кривая зависимости площади живого сѣченія отъ высоты горизонта (парабола, при очень широкомъ руслѣ приближающаяся къ прямой) (черт. 208 а). Для облегченія построенія этой кривой можно пользоваться тѣмъ, что тангенсъ угла, образуемаго касательною къ кривой въ любой точкѣ съ осью ординатъ равенъ ширинѣ водотока. Такъ, если при высотѣ горизонта H вычислена площадь живого сѣченія F, то при измѣненіи высоты на dH величина площади измѣнится на

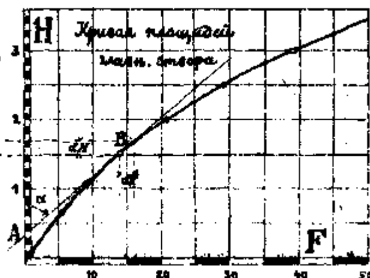
$$dF = b.dH,$$

гдѣ b - ширина водотока по урѣзу воды (черт. 208); отсюда

$$b = \frac{dF}{dH};$$

изъ черт. же (208 а):



$$\frac{dF}{dH} = tg\alpha ,$$

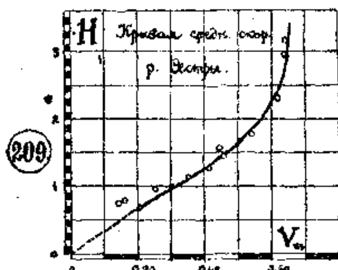
слѣдовательно

$$tg\alpha = b \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (247)$$

Затѣмъ строится кривая, выражающая зависимость между высотою горизонта и среднею скоростью всего живого сѣченія, хотя бы вычисленною по формулѣ Базэна; предварительно изъ дѣйствительныхъ измѣреній вычисляется значеніе коэффиціента шероховатости (см. § 102); уклонъ считается постояннымъ при различныхъ высотахъ горизонта, гидравлическій радіусъ вычисляется по профилю живого сѣченія, или приближенно замѣняется среднею глубиною, т.е. $R = \frac{F}{b}$. По этимъ даннымъ вычисляются значенія средней скорости при нѣсколькихъ высотахъ горизонта и по нимъ строится кривая, выпуклая по отношенію къ оси абсциссъ, со сравнительно малыми искривленіями (черт. 209). Пользуясь двумя построенными кривыми, можно для любого горизонта найти

$$Q = F \cdot V_m$$

и построить кривую расхода.



209

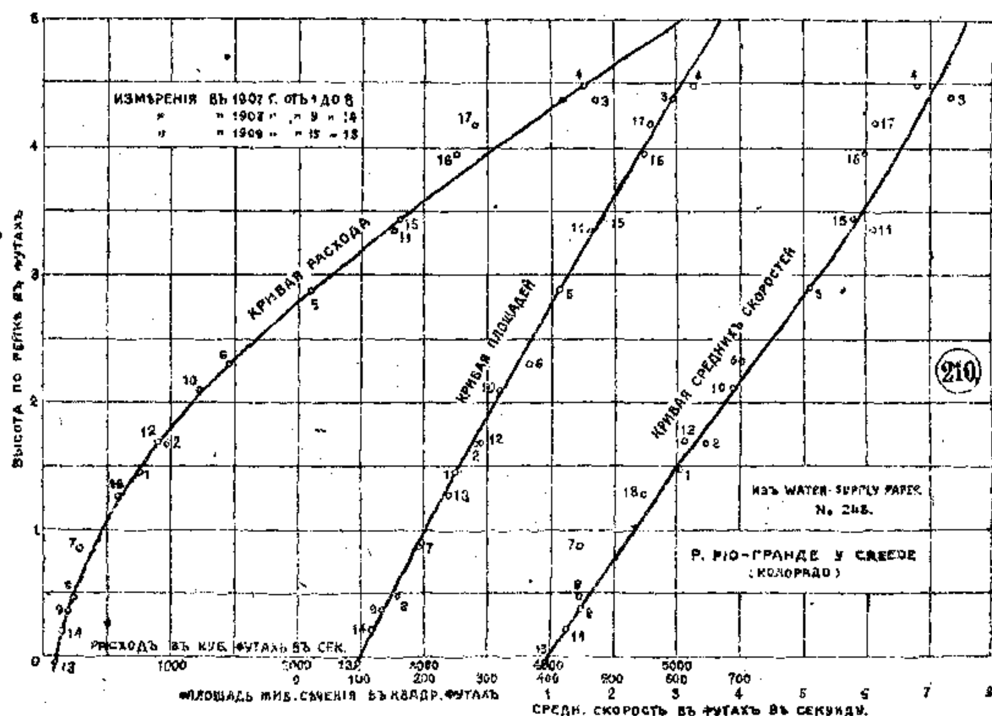
Построеніе кривыхъ, выражающихъ зависимость площадей живого сѣченія и среднихъ скоростей отъ высоты горизонта воды, примѣняется въ С. Штатахъ всегда, параллельно построенію кривой расхода для ея провѣрки въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ ее затруднительно провести. Всѣ три кривыя въ такомъ видѣ, какъ онѣ тамъ исполняются, приведены на черт. 210.

Проф. Глушковъ *) рекомендуетъ сначала построить „кривую нормальныхъ расходовъ", опредѣлить для каждаго дѣйствительнаго измѣренія величину расхода по этой кривой $Q_1$ и отношеніе къ ней дѣйствительнаго расхода $Q$ :

$$z = \frac{Q}{Q_1} ;$$

---

*) Возможныя формы кривыхъ, выражающихъ зависимость величины площадей, скоростей и расходовъ водныхъ потоковъ отъ высоты стоянія горизонта воды.




по ряду значеній z слѣдуетъ построить кривую зависимости z отъ высоты горизонта воды; тогда для любого горизонта можетъ быть опредѣлено соотвѣтств. значеніе $z_n$ и опредѣлена величина дѣйствительнаго расхода $Q_n$ по данной отъ „нормальной" кривой величинѣ $Q_n^*$:

$$Q_n = z_n \cdot Q_n^*$$

По значеніямъ $Q_n$ при различныхъ высотахъ горизонта вычерчивается „кривая дѣйствительныхъ расходовъ".

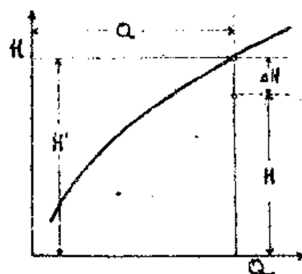
Кривая нормальныхъ расходовъ можетъ быть построена на основаніи приближенныхъ кривыхъ площадей и среднихъ скоростей; для послѣдней кривой можно было бы примѣнить формулу Гарлахера (175).

Общимъ недостаткомъ приближеннаго построенія кривыхъ расхода является то, что приходится всѣ измѣренія, вслѣдствіе ихъ неодно-временности, признавать безошибочными.

## § 109. ПОЛЬЗОВАНІЕ КРИВОЮ РАСХОДА.

Когда графическимъ методомъ или по уравненію построена кривая расхода, на основаніи „срочныхъ" (ежедневныхъ и даже болѣе частыхъ) отсчетовъ высоты горизонта воды по ней опредѣляется соотвѣтств. каждому измѣренному горизонту приближенная величина расхода, и строится графикъ колебаній расхода водотока (черт. 204). Кривая расхода не можетъ, однако, считаться постоянной: вслѣдствіе размыванія и углубленія дна или отложенія наносовъ и т.п., особенно у потоковъ съ неустойчивымъ русломъ, изображенная кривой зависимость измѣняется, и, слѣдовательно, пришлось бы періодически вычерчивать новыя кривыя расхода, что сопряжено съ большими затратами. Чтобы въ теченіе продолжительнаго времени можно было пользоваться одной и той же кривой, Стаутомъ (Stout) предложенъ слѣдующій способъ.

Отъ времени до времени производятся повѣрочныя измѣренія расхода; каждый разъ по кривой расхода опредѣляется та высота горизонта $H'$, при которой расходъ долженъ быть равенъ измѣренной величинѣ. Разница между $H'$ и дѣйствительной высотой горизонта $H$ во время измѣренія расхода: $H' - H = \Delta H$ (черт. 211) въ этомъ случаѣ приписывается измѣненіямъ русла (ошибки при измѣреніи расхода, построеніи кривой и вслѣдствіе игнорированія вліянія другихъ факторовъ — не принимаются въ расчетъ).



211

Графикъ измѣненія поправокъ по Стауту.



211a

На основаніи ряда опредѣленій величины $\Delta H$ строится графикъ ея колебаній по времени (черт. 211 а). Затѣмъ къ отсчитанной въ какой-нибудь день высотѣ горизонта $H'_1$ прибавляется величина „поправки Стаута", найденная для этого дня по построенному графику — $\Delta H_1$:

$$H'_1 + \Delta H_1 = H_1 .$$

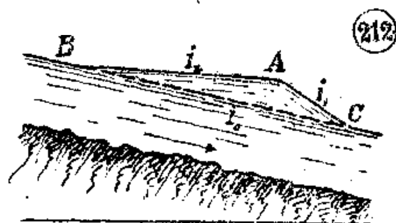
По исправленной высотѣ горизонта $H_1$ берется съ кривой (211) величина расхода для даннаго дня.

Значительную помощь можетъ оказать при построеніи графика по-

поправокъ Стаута графикъ колебаній высоты средняго дна (§ 81); такъ какъ способъ Стаута имѣетъ въ основѣ допущеніе, что измѣненіе зависимости между высотой горизонта воды и расходомъ обусловливается исключительно измѣненіями русла, а эти измѣненія (углубленіе дна, отложеніе наносовъ) улавливаются вычисленіемъ отмѣтки средняго дна (для чего требуется лишь сдѣлать промѣры живого сѣченія), то графикъ поправокъ Стаута можетъ быть провѣренъ, исправленъ и даже продолженъ при посредствѣ сравненія съ графикомъ колебаній отмѣтки средняго дна. Приближенно можно даже пользоваться послѣднимъ графикомъ взамѣнъ графика поправокъ Стаута, т.к. измѣненіе высоты дна при одной и той же площади живого сѣченія вызываетъ почти такое же измѣненіе высоты горизонта воды.

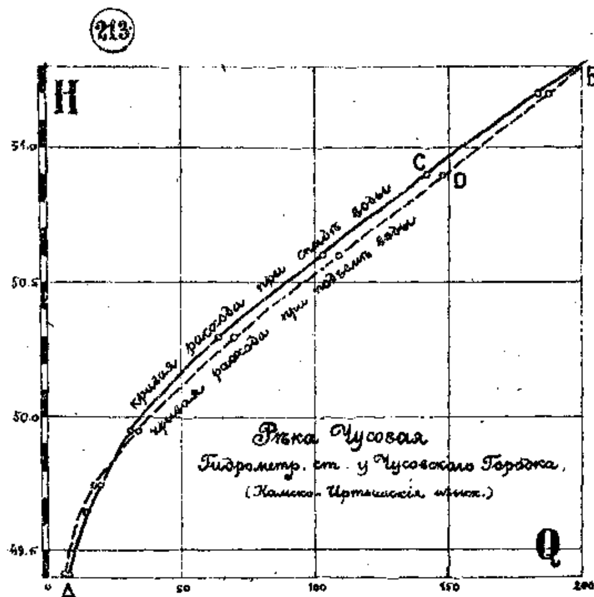
## § 110. ВЛІЯНІЕ ПРОДОЛЬНАГО УКЛОНА НА ВЕЛИЧИНУ РАСХОДА.

Величина средней скорости зависитъ отъ продольнаго уклона поверхности воды; колебанія уклона связаны съ измѣненіями горизонта и объясняются неустановившимся движеніемъ воды. Если схематически изобразить профиль „волны" паводка HAC (черт. 212), то въ передней части ея (AC) уклонъ $i_1$ долженъ быть больше нормальнаго $i_0$ (урѣзъ BC); на гребнѣ паводка A уклонъ $i_2$ – меньше $i_0$. Этимъ объясняется то, что въ началѣ паводка, когда вода прибываетъ и горизонтъ ея повышается, расходъ оказывается больше, чѣмъ при той же высотѣ горизонта во время спада воды. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ могутъ быть вычерчены двѣ кривыя расхода: одна – по результатамъ измѣреній при возрастаніи высоты горизонта (ADB, черт. 213), другая – при убываніи (ACB); примѣненіе той или другой кривой зависитъ отъ состоянія горизонта. Казалось бы правильнымъ построить рядъ кривыхъ для различныхъ значеній продольнаго уклона.




Въ послѣднее время въ С.Штатахъ находитъ примѣненіе методъ исправленія результата, полученнаго по кривой расхода, на величину уклона, предложенный Холломъ (M.H.Hall) въ 1908 г. Сущность его заключается въ слѣдующемъ.

Расходъ воды при одномъ и томъ же горизонтѣ прямо пропорціона-




ленъ $\sqrt{i}$, т.е., согласно съ формулой Шези:

$Q = F.v_m = F.c\sqrt{Ri}$,

$Q' = F.v'_m = F.c\sqrt{Ri'}$,

откуда

$$\frac{Q}{Q'} = \sqrt{\frac{i}{i'}} \quad . \; . \; (248)$$

Для наблюденія надъ измѣненіями уклона въ С.Штатахъ, кромѣ основного водомѣрнаго поста (гл. XIII), устраивается второй – выше по теченіи. При разности отмѣтокъ поверхности воды на этихъ постахъ = H продольный уклонъ равенъ $i = \frac{H}{D}$, гдѣ D – разстояніе между постами; при другой какой-нибудь разности H' уклонъ $i' = \frac{H'}{D}$; отсюда

$$\frac{i}{i'} = \frac{H}{H'} ;$$

въ этомъ случаѣ нѣтъ необходимости знать величину D. Подставивъ найденное соотношеніе въ (248), имѣемъ:

$$\frac{Q}{Q'} = \sqrt{\frac{H}{H'}} \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (249)$$

Для нѣкотораго значенія $H_o$, напр. наиболѣе устойчиваго или же средняго, строится „нормальная" кривая расхода, для чего по каждому измѣренному расходу $Q_n$ (при горизонтѣ $H_n$) вычисляется значеніе $Q_o$, которое соотвѣтствовало бы $H_o$, примѣнительно къ формулѣ (249):

$$Q_o = Q_n \sqrt{\frac{H_o}{H_n}} \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (250)$$

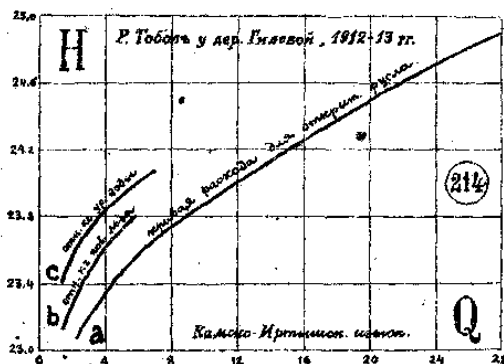
При пользованіи построенной „нормальной" кривой сначала для измѣренной высоты горизонта h находится по кривой значеніе $Q_o$; затѣмъ по паденію H въ данный моментъ вычисляется исправленное значеніе расхода:

$$Q = Q_0\sqrt{\frac{H}{H_0}} \quad . . . . . . . . . . . . . (251)$$

для различныхъ значеній H можно заблаговременно вычислить значенія $\sqrt{\frac{H}{H_0}} = z.$

## § 111. Вліяніе ледяного покрова.

Къ обстоятельствамъ, вліяющимъ на зависимость между расходомъ и высотою горизонта воды при открытомъ руслѣ, присоединяются еще другія при существованіи ледяного покрова. Своеобразныя условія движенія воды въ потокѣ, скованномъ льдомъ, какъ въ трубѣ, часто подъ напоромъ, образованія игольчатаго и донного льда – все это замѣтно усложняетъ установленіе необходимой зависимости. Лишь незначительность зимняго расхода потоковъ (у многихъ рѣкъ въ суровомъ климатѣ этотъ расходъ составляетъ всего 15-25% лѣтняго при томъ же горизонтѣ) и небольшіе предѣлы колебаній горизонта и расхода въ теченіе всего ледостава даютъ возможность примѣнять аналогичные указаннымъ выше методы построенія и вычисленія кривыхъ расхода.




Еще не разрѣшенъ вопросъ, къ какому уровню относить измѣряемые подо льдомъ расходы: къ поверхности льда, къ его подошвѣ или къ поверхности воды въ лункахъ (прорубяхъ). При изслѣдованіяхъ въ С.Штатахъ и на Камско-Иртышскихъ изысканіяхъ вычерчивались отдѣльно кривыя зависимости расхода отъ высоты горизонта воды въ лункахъ (черт.214, c) и отъ средней отмѣтки подошвы льда (b). Примѣрныя очертанія этихъ кривыхъ, по сравненію съ кривой расхода для открытаго русла (a), изображены на черт. 214.

Инж. Моисеенко вліяніе льда учитывалъ введеніемъ поправокъ, аналогично „поправкамъ Стаута", считаясь съ медленнымъ измѣненіемъ добавочныхъ вліяній; инж. Палицинъ по этимъ же соображеніямъ примѣнялъ методъ опредѣленія зависимости между средними величинами зимнихъ расходовъ и горизонтовъ.

## ГЛАВА XXVI. ВОДОМѢРНЫЯ НАБЛЮДЕНІЯ.

### § 112. ЗНАЧЕНІЕ ВОДОМѢРНЫХЪ НАБЛЮДЕНІЙ.

Съ незапамятныхъ временъ вниманіе людей привлекали колебанія горизонта воды въ рѣкахъ и озерахъ, и, прежде всего, исключительныя положенія горизонта - самыя высокія, угрожавшія полямъ и жилищамъ, или самыя низкія, затруднявшія судоходство. Объ этомъ свидѣтельствуютъ встрѣчаемыя нерѣдко на скалистыхъ берегахъ и прибрежныхъ сооруженіяхъ мѣтки на высотѣ важныхъ для людей исключительныхъ стояній уровня воды. Для огражденія безопасности плаванія судовъ издавна ведутся систематическія наблюденія надъ колебаніями горизонта воды въ избранныхъ для этого мѣстахъ, называемыхъ водомѣрными постами. На островахъ Элефантинѣ и Рода на Нилѣ существуютъ понынѣ со временъ фараоновъ особыя сооруженія, представляющія изъ себя древнѣйшіе водомѣрные посты. Наблюденія надъ высотою уровня воды очень просты и допускаютъ автоматическую регистрацію. Поэтому, какъ было указано въ § 105, эти наблюденія значительно облегчаютъ гидрометрическія изслѣдованія, давая возможность ограничиться сравнительно немногими измѣреніями расхода. Тѣ водомѣрные посты, на которыхъ производятся измѣренія расхода для установленія зависимости между высотою горизонта и расходомъ, называются гидрометрическими станціями. Для измѣренія колебаній продольнаго уклона устраиваются особые „уклонные" водомѣрные посты.

Для геодезистовъ водомѣрныя наблюденія имѣютъ громадное значеніе еще потому, что къ среднему (многолѣтнему) уровню морей относятся точныя нивеллировки (въ Россіи - къ среднему Балтійско-Черноморскому уровню), а слѣдовательно и высоты гипсометрическихъ картъ.

### § 113. ТИПЫ ВОДОМѢРНЫХЪ ПОСТОВЪ.

Водомѣрные посты могутъ быть подраздѣлены на:

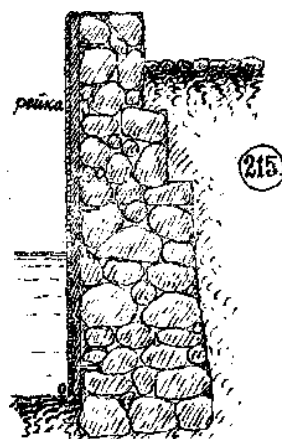
1) простые, на которыхъ высота горизонта или непосредственно отсчитывается по постоянной рейкѣ (реечный типъ), или измѣряется отъ одной изъ постоянныхъ точекъ, находящихся ниже поверхности воды (свайный типъ) или выше ея (мостовой типъ);

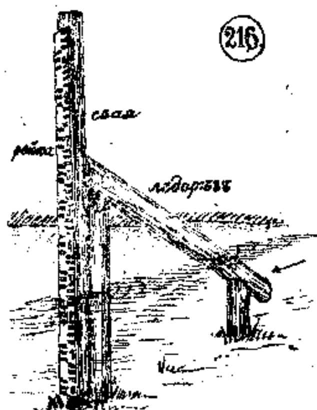
2) передаточные, когда наблюденія производятся при посредствѣ передаточнаго механизма; передача можетъ совершаться путемъ механическимъ, пневматическимъ, гидравлическимъ или электрическимъ; наибольшимъ распространеніемъ пользуется механическая передача, причемъ различаются способы: поплавочный, вѣсовой и дифференціальный;

3) саморегистрирующіе водомѣрные посты, когда передаточный механизмъ присоединенъ къ самопишущему прибору, непрерывно отмѣчающему на бумагѣ колебанія уровня. Приборы для записи высоты горизонта называются лимниграфами и мареографами (морскіе лимниграфы). Для нуждъ судоходства и предсказанія наводненій иногда водомѣрные посты снабжаются приборами, передающими показанія поста на значительныя разстоянія, т.наз. дальноизвѣстителями.

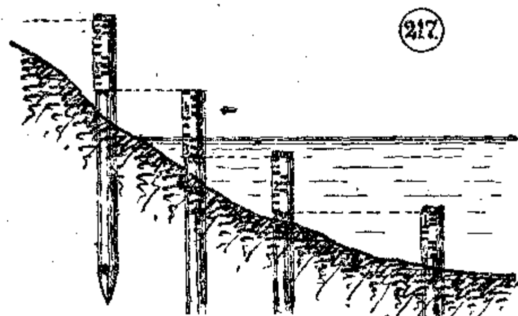
## § 114. РѢЧНЫЕ ВОДОМѢРНЫЕ ПОСТЫ.

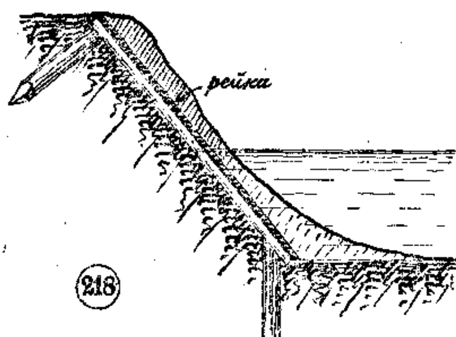
Въ простѣйшемъ случаѣ для наблюденій надъ высотою горизонта воды можетъ служить рейка (у моряковъ - „футштокъ"), прикрѣпляемая вертикально къ какому-либо сооруженію, напр. устою моста, набережной (черт.215), или къ особой сваѣ (черт.216); рейка нерѣдко замѣняется дѣленіями, наносимыми на самомъ сооруженіи. Длина рейки должна быть не менѣе разности высотъ самаго низкаго и самаго высокаго уровней (отъ 2 до 6 саж. на рѣкахъ, около 1 саж. на озерахъ). Рейка устанавливается въ мѣстѣ, защищенномъ отъ ледохода, или ограждается ледорѣзомъ (черт.216).




Для удобства отсчитыванія при различныхъ положеніяхъ горизонта, а также для защиты отъ ледохода, иногда рейка дѣлится на части, прибиваемыя къ невысокимъ сваямъ, забитымъ на различныхъ высотахъ, такъ что каждый отрѣзокъ рейки является продолженіемъ по высотѣ нижележащаго отрѣзка (черт.217). Такой постъ, называемый иногда свайно-



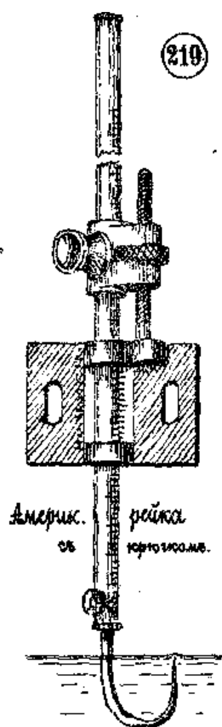




реечныхъ или смѣшанныхъ, мало гарантированъ отъ поврежденій; если одна изъ свай сдвинется, приходится вводить поправки въ отсчеты тогда самый смыслъ реечнаго поста нарушается, т.к. отсчетъ не дастъ непосредственно высоты горизонта воды.

Кромѣ реечныхъ постовъ съ вертикальною рейкою извѣстны посты съ наклонною рейкою, укрѣпляемою на откосѣ какого-либо сооруженія или же на сваяхъ въ небольшомъ углубленіи (черт.218); дѣленія рейки въ этомъ случаѣ наносятся по нивеллиру черезъ опредѣленныя разстоянія по высотѣ. Сообразно съ очертаніями профиля берега, наклонная рейка можетъ состоять изъ нѣсколькихъ участковъ съ различнымъ угломъ наклона (ломаная рейка); если берегъ очень пологій, то, чтобы сократить длину рейки, дѣлается выемка (канава), по которой вода можетъ достигать рейки.

Рейки для водомѣрныхъ постовъ дѣлаются деревянныя или металлическія. Дѣленія деревянныхъ реекъ наносятся краскою, отдѣлываются уступами, выжигаются или прибиваются изъ отдѣльныхъ металлическихъ скобъ. Краска отъ перемѣннаго дѣйствія воды (особенно морской) и воздуха быстро смывается, да и вообще деревянныя рейки недолговѣчны. На постоянныхъ постахъ, гдѣ нежелательна частая замѣна реекъ, ихъ изготовляютъ изъ чугуна или желѣза съ рельефными (отлитыми) дѣленіями, или же съ дѣленіями составленными изъ фарфоровыхъ („нормальныя" рейки системы Зейбта-Фюсса) или эмалированныхъ цвѣтныхъ пластинокъ. Цвѣта выбираются наиболѣе яркіе (черный, бѣлый, красный). Рейки укрѣпляются на прочныхъ сваяхъ или бетонныхъ столбахъ, или же при помощи желѣзныхъ болтовъ или скобъ прибиваются къ существующимъ сооруженіямъ.

Отсчетъ высоты горизонта по рейкѣ производится непосредственно у урѣза воды; болѣе точно достигается это примѣненіемъ рейки съ

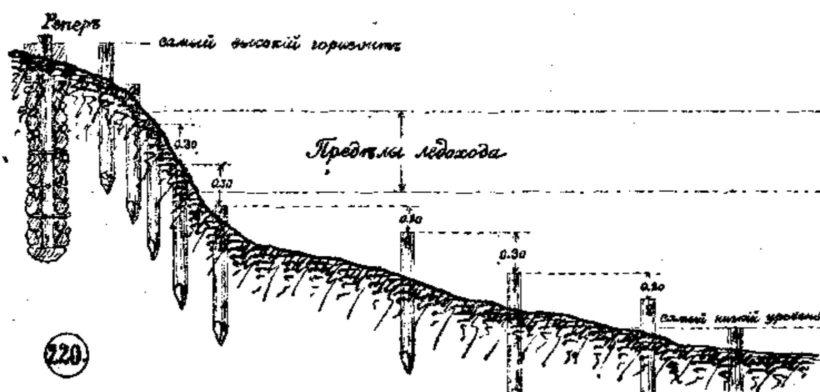



верньеромъ и крючкомъ, который приводится въ соприкосновеніе съ поверхностью воды снизу (черт. 219). Точность отсчета ухудшаетъ волненіе (особенно на морѣ), для избѣжанія котораго при точныхъ наблюденіяхъ нерѣдко постъ устраиваютъ въ сторонѣ, въ колодцѣ, имѣющемъ сообщеніе съ водою въ рѣкѣ (озерѣ или морѣ), или же рейку окружаютъ защитою, напр. трубою, погруженною въ воду настолько, чтобы устранить вліяніе наиболѣе подвижныхъ поверхностныхъ струй.

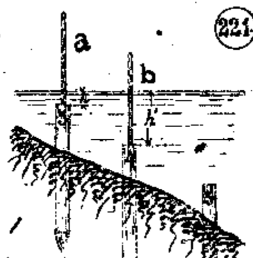
Отсчетъ по рейкѣ даетъ высоту уровня надъ нулемъ рейки. Для наблюденія надъ относительными колебаніями высота этого нуля безразлична; для упрощенія же вычисленія уравненія кривой расхода (ср. форм. 222) желательно, чтобы „нуль поста", т.е. отмѣтка, отъ которой ведется счетъ высотъ, совпадала съ такимъ положеніемъ горизонта, когда расходъ воды равенъ нулю; приближенно за нуль поста принимаютъ отмѣтку самой глубокой точки створнаго сѣченія, въ которомъ измѣряются расходы.

## § 115. СВАЙНЫЕ ВОДОМѢРНЫЕ ПОСТЫ.

На пологихъ естественныхъ берегахъ наиболѣе цѣлесообразно устройство водомѣрнаго поста свайнаго типа. Этотъ типъ утвержденъ для постовъ Вѣдомства Путей Сообщенія съ 1876 года Навигаціонно-Описною Коммиссіей, взамѣнъ прежняго реечнаго (черт. 216), примѣнявшагося съ 1843 г. и оказавшагося крайне ненадежнымъ. Свайный водомѣрный постъ (черт. 220) состоитъ изъ ряда свай, забитыхъ въ одномъ створѣ черезъ разстояніе по высотѣ не болѣе 0,30 саж., рѣже до 0,50 саж. Высоту свай надъ поверхностью земли оставляютъ не выше 0,10 – 0,20 саж., а въ предѣлахъ ледохода ихъ спиливаютъ въ уровень съ поверхностью земли. При помощи нивеллировки опредѣляются относительныя высоты надъ „нулемъ поста" горизонтальныхъ площадокъ головокъ свай или забитыхъ въ нихъ гвоздей съ большими шляпками. Для измѣренія высоты горизонта на ближайшую къ берегу сваю, затопленную водою, ставится вертикально небольшая переносная реечка,



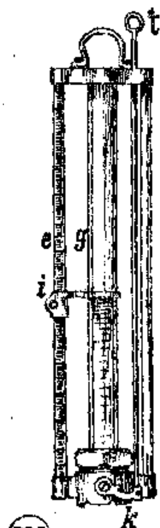

съ нулемъ внизу; отсчетъ по реечкѣ у урѣза поверхности воды укажетъ превышеніе поверхности воды надъ головкой сваи и дастъ возможность вычислить отмѣтку горизонта. Если по какой-нибудь причинѣ измѣнится положеніе одной изъ свай, то достаточно сдѣлать отсчеты по реечкѣ поочередно на двухъ находящихся подъ водой сваяхъ (черт.221) чтобы замѣтить измѣненіе; при этомъ нѣтъ надобности исправлять относительное положеніе свай: надо лишь исправить отмѣтку измѣнившейся сваи, принимая во вниманіе, что разность отсчетовъ по реечкѣ (черт.221 - a и b) выражаетъ превышеніе головокъ свай.




На отлогомъ берегу, чтобы не входя въ воду дѣлать наблюденія, приходится или сваи забивать чаще, черезъ разстоянія по высотѣ въ 0.05-0.10 саж., или устраивать небольшой мостикъ, по которому можно было бы пройти до ближайшей покрытой водой сваи.

Для наблюденій на свайномъ посту обычно примѣняется небольшая переносная реечка, длиной въ 0,5 - 0,6 саж., прямоугольнаго или, предпочтительнѣе, трехграннаго или ромбическаго сѣченія, чтобы при быстромъ теченіи рейка не вызывала замѣтнаго подпора. При работахъ на р. Зеѣ инж. Соколовымъ былъ сконструированъ особый приборъ, который даетъ возможность болѣе точно дѣлать отсчеты на свайномъ водомѣрномъ посту; онъ состоитъ изъ стеклянной трубки g діам. 2 см. въ металлической оправѣ (черт.222), на одной изъ стоекъ которой e нанесены дѣленія черезъ 0,001 саж. Нижній конецъ трубки можетъ закрываться краномъ k при помощи стержня t. Приборъ ставятъ на головку

сваи, вода входитъ въ трубку снизу, такъ что отчасти устраняется вліяніе волненія; затѣмъ закрываютъ кранъ, приборъ вынимаютъ изъ




воды и, пользуясь указателемъ i, дѣлаютъ отсчетъ по шкалѣ е съ точностью до 0,0005 саж.

Вмѣсто переносной рейки инж. Фадѣевъ рекомендовалъ примѣненіе размѣченной цѣпи, верхній конецъ которой прикрѣпляется къ поплавку (черт.223), нижній - къ сваѣ. Для отсчета цѣпь вытягивается изъ воды настолько, чтобы длина погруженной въ водѣ части сдѣлалась наименьшей.

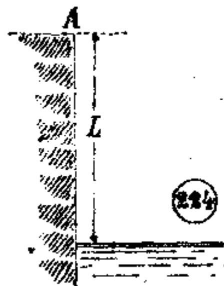



Въ Россіи для водомѣрныхъ постовъ берутся обычно деревянныя (лучше всего сосновыя или дубовыя) сваи, діаметромъ 4-6 вершковъ, которыя забиваются при помощи деревянной бабы на глубину до 0,5 - 0,6 саж., а даже больше. Гораздо прочнѣе и долговѣчнѣе металлическія сваи, дѣлаемыя изъ обрубковъ старыхъ рельсовъ или обсадныхъ (буровыхъ) трубъ. На водомѣрныхъ постахъ М.П.С. забиваются двѣ металлическія сваи - крайнія, которыя считаются за исходныя.

Число свай должно быть таково, чтобы можно было производить наблюденія при всѣхъ возможныхъ положеніяхъ горизонта воды. Для систематическихъ провѣрокъ поста на берегу въ достаточно надежномъ мѣстѣ, часто въ створѣ свай, сооружается прочный реперъ (черт.220).

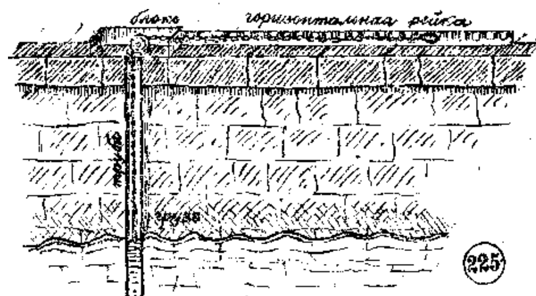
## § 116. МОСТОВЫЕ ВОДОМѢРНЫЕ ПОСТЫ.

Особенностью третьяго типа водомѣрнаго поста является то, что высота горизонта воды опредѣляется по разстоянію L отъ поверхности воды до постоянной точки A, расположенной выше, вычитая изъ отмѣтки

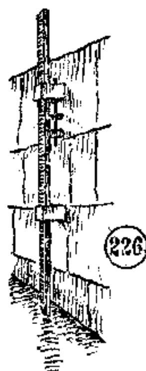


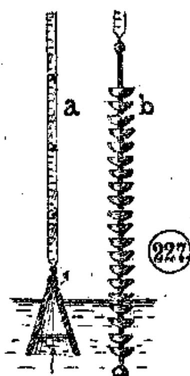

точки A разстояніе L (черт.224). Постъ мостового типа удобно устраивать на искусственныхъ сооруженіяхъ - набережныхъ, мостахъ, плотинахъ и т.п. Въ простѣйшемъ случаѣ для измѣренія высоты горизонта служитъ цѣпь, которая опускается внизъ, пока конецъ ея не коснется поверхности воды. Длина цѣпи опредѣляется или по мѣткамъ, или по числу оборотовъ рукоятки, если она разматывается лебедкой.

На американскихъ водомѣрныхъ постахъ мостового типа вмѣсто измѣренія длины цѣпи, дѣлаются отсчеты по горизонтальной рейкѣ: цѣпь перекидывается черезъ блокъ (черт.225), для отсчетовъ служитъ кольцо въ концѣ цѣпи; къ другому концу цѣпи подвѣшивается грузъ въ формѣ цилиндра. Чтобы устранить вліяніе вѣтра на цѣпь, а также вліяніе волненія, часто грузъ опускается въ трубѣ, нижній конецъ которой погружается въ воду на глубину самаго низкаго горизонта (черт.225); въ этомъ случаѣ моментъ достиженія грузомъ поверхности воды опредѣляется наблюдателемъ по слуху или по тяжести груза. Длина цѣпи, примѣняемой для измѣренія разстояній, не должна измѣняться вслѣдствіе растяженія; можно цѣпь замѣнить стальнымъ троссомъ или проволокой.




Къ типу мостовыхъ постовъ относится рядъ другихъ водомѣрныхъ приспособленій, напр. выдвижная рейка, примѣняемая при водосливахъ, на каналахъ и т.п. для небольшихъ колебаній уровня (черт.226); заостренный нижній конецъ рейки приводится при посредствѣ микрометреннаго винта въ соприкосновеніе съ поверхностью воды; точнѣе достигается это у рейки съ верньеромъ и крючкомъ (черт.219).




Особенно удобно пользоваться идеею мостового водомѣрнаго поста, когда горизонтъ воды совершенно недоступенъ для наблюденій, какъ напр. въ колодцахъ или буровыхъ скважинахъ. Разстояніе отъ устья скважины или верхняго края шахты колодца измѣряется рулеткою, къ которой подвѣшивается грузъ; на большой глубинѣ для опредѣленія момента соприкосновенія груза съ поверхностью воды вмѣсто груза прикрѣпляется „водяной свистокъ" (черт.227, а - конусъ съ отверстіемъ, издающимъ свистъ, когда въ конусъ входитъ вода и вытѣсняетъ воздухъ) или приборъ Петтенкоффера (черт.227, b), состоящій изъ стержня съ нанизаннымъ на него рядомъ чашечекъ; по числу чашечекъ, зачерпнувшихъ воду,

можно опредѣлить, насколько приборъ погрузился въ воду, и это разстояніе вычесть изъ отсчета по рулеткѣ.

## § 117. ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ПОСТЫ.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда почему-либо невозможно или неудобно непосредственно отмѣчать высоту уровня воды по описаннымъ методамъ, прибѣгаютъ къ устройству передаточныхъ приспособленій, которыя переносятъ мѣсто отсчета въ болѣе удобныя условія. Съ другой стороны, передача можетъ преслѣдовать измѣненіе масштаба: при точныхъ наблюденіяхъ надъ колебаніями горизонта воды во время измѣренія расхода (см. гл. X) полезно увеличивать показанія поста, чтобы съ большею точностью дѣлать отсчеты; наоборотъ, когда къ передаточному механизму присоединенъ самопишущій приборъ, приходится уменьшать масштабъ показаній, чтобы на сравнительно неширокой лентѣ помѣстились всѣ возможныя положенія уровня.

Каждый передаточный постъ состоитъ изъ пріемнаго приспособленія, передаточнаго механизма и указателя.

По конструкціи передаточные водомѣрные посты могутъ быть подраздѣлены на:

1) механическіе, въ которыхъ передача можетъ осуществляться системою проволокъ, блоковъ, воротовъ и зубчатыхъ колесъ; въ зависимости отъ идеи устройства пріемнаго приспособленія, механическіе посты дѣлятся на

a) поплавковые,

b) вѣсовые,

c) дифференціальные.

2) пневматическіе, основанные на измѣненіи давленія воды на погруженные въ нее предметы при измѣненіи высоты горизонта; пріемникомъ служитъ упругая камера (резиновая или металлическая), соединяемая трубкою съ манометромъ (ср. профилографъ Файоша, стр. 251); несложнаго устройства приборы.

3) гидравлическіе, передача давленія въ которыхъ производится водою, заполняющею трубку;

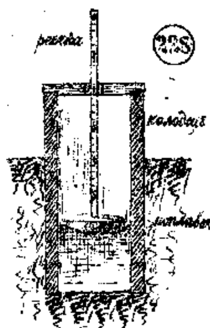
4) электрическіе, представляющіе приспособленіе механической передачи путемъ замыканія тока при опредѣленныхъ положеніяхъ блоковъ

или указателей для сообщенія положенія горизонта воды на болѣе отдаленное разстояніе.

## § 118. ПОПЛАВКОВАЯ ПЕРЕДАЧА.

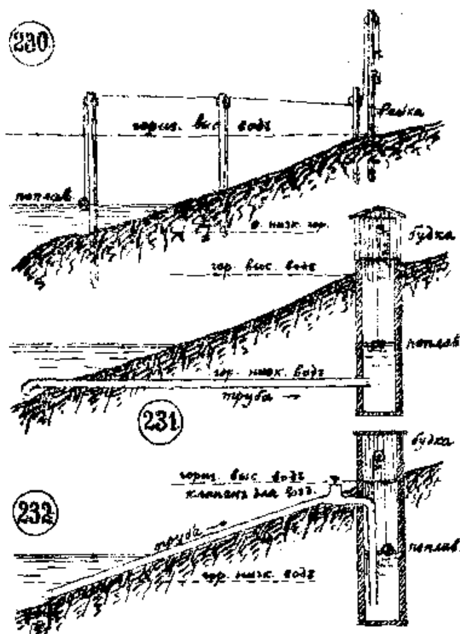
Поплавковые передаточные посты въ качествѣ пріемника имѣютъ поплавокъ, который долженъ неизмѣнно сохранять одно и то же положеніе по отношенію къ горизонту воды; чаще всего поплавкомъ служитъ пустой внутри металлическій шаръ, цилиндръ или линза. Въ простѣйшемъ случаѣ передача отсчета достигается рейкою, прикрѣпленною къ поплавку; такая конструкція примѣняется при небольшихъ предѣлахъ колебаній горизонта, напр. у водосливовъ, въ „грунтовыхъ" колодцахъ, устраиваемыхъ для наблюденій надъ глубиной залеганія грунтовой воды и т.п.

Въ послѣднемъ случаѣ противъ верхняго края сруба колодца (черт. 228) дѣлаются отсчеты по реечкѣ, дѣленія которой нанесены сверху внизъ; отсчеты вычитаются изъ отмѣтки сруба.




Для большихъ колебаній описанная конструкція не пригодна; въ этомъ случаѣ къ поплавку присоединяется проволока, которая перекидывается черезъ блокъ и уравновѣшивается грузомъ (черт. 229). Отсчеты дѣлаются по вертикальной рейкѣ противъ груза или особаго указателя. Постъ такого типа устраивается на искусственныхъ сооруженіяхъ, рѣже на естественномъ берегу (черт. 230), т.к. тогда приходится проволоку черезъ рядъ блоковъ отводить къ берегу; такое устройство можетъ быть лишь временнымъ. Гораздо менѣе подвержена повреждеgreніямъ конструкція поплавковаго водомѣрнаго поста съ колодцемъ, сооружаемымъ на берегу, выше горизонта самыхъ высокихъ водъ. Въ колодецъ проводится труба, закладываемая ниже возможнаго наинизшаго положенія высоты горизонта (черт.231); вода въ колодцѣ по закону сообщающихся сосудовъ устанавливается на одной высотѣ съ поверхностью воды надъ входнымъ отверстіемъ трубы. Достоинства этого типа поста, примѣняемаго очень часто на постоянныхъ гидрометрич. станціяхъ, слѣдующія:






a) наблюденія могутъ продолжаться непрерывно въ теченіе круглаго года, т.к. вода въ колодцѣ не замерзаетъ;

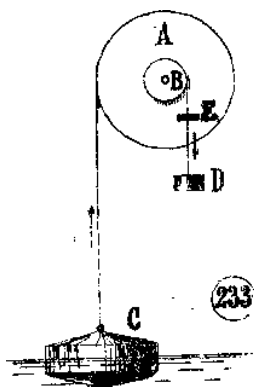
b) почти не оказываетъ вліянія волненіе, т.к. входное отверстіе трубы располагается сравнительно глубоко подъ поверхностью воды;

c) постъ защищенъ отъ поврежденій во время ледохода, прохода судовъ и т.п.,

d) колодецъ и будка, сооружаемая надъ нимъ, даютъ возможность примѣнить любой типъ лимниграфа.

Недостатки устройства колодца - его высокая стоимость и необходимость въ частой очисткѣ отъ ила, приносимаго водою, если она содержитъ въ себѣ много взвѣшенныхъ частицъ. Отчасти заиленіе предотвращается устройствомъ особыхъ отстойныхъ приспособленій у входного отверстія трубы.

Проще устройство колодца для водомѣрнаго поста въ томъ случаѣ, когда приводящая труба укладывается по берегу (черт.232) и вода устанавливается въ колодцѣ по принципу сифона; однако такое устройство не гарантировано отъ замерзанія.



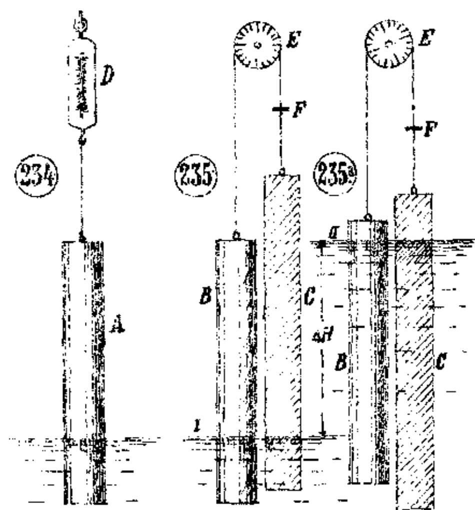

Измѣненіе масштаба рейки, по которой дѣлаются отсчеты, въ простѣйшемъ случаѣ достигается тѣмъ, что блокъ, черезъ который проводится проволока отъ поплавка, замѣняется воротомъ. На одинъ изъ валовъ, напр. A (черт.233) наматывается проволока отъ поплавка C; одновременно съ другого вала B сматывается проволока съ противовѣсомъ D и указателемъ E. Перемѣщеніе указателя во столько разъ меньше перемѣщенія поплавка, а слѣд. и высоты горизонта воды, во сколько діаметръ вала B меньше A.

Нѣкоторые другіе, болѣе сложные переда-

точные механизмы съ измѣненiемъ масштаба описаны въ § 120.

## § 119. ВѢСОВАЯ И ДИФФЕРЕНЦIАЛЬНАЯ ПЕРЕДАЧА.

Представляютъ значительный интересъ двѣ идеи проф. Глушкова, дающiя возможность чрезвычайно упростить передаточныя приспособленiя и получить произвольное уменьшенiе масштаба указателя.




„Вѣсовая водомѣрная рейка" *) представляетъ изъ себя призматическiй брусокъ А (черт.234), тяжелѣе воды, подвѣшенный на проволокѣ къ пружиннымъ или инымъ вѣсамъ, причемъ нижнiй конецъ бруска погруженъ въ воду.

Если горизонтъ воды будетъ повышаться, то брусокъ будетъ затопляться водою; по закону Архимеда, вѣсъ его будетъ уменьшаться, а это можетъ быть учтено вѣсами. Каждому положенiю высоты уровня соотвѣтствуетъ опредѣленное показанiе вѣсовъ; если подобрать площадь сѣченiя бруска, по указателю вѣсовъ можно отсчитывать высоту горизонта въ любомъ масштабѣ. Достоинствами описаннаго прибора являются: простота передачи, незначительность перемѣщенiя бруска при большихъ измѣненiяхъ высоты уровня воды и несложность употребленiя. Колодецъ для поста съ вѣсовой передачей можетъ быть построенъ изъ трубы, въ которую опускается брусокъ въ формѣ цилиндра, занимающiй большую часть площади сѣченiя трубы; благодаря этому значительно сокращается количество входящей въ колодецъ воды и уменьшается опасность заиленiя колодца.

Тѣми же достоинствами обладаетъ другое приспособленiе проф. Глушкова - „дифференцiальная водомѣрная рейка" **), состоящая изъ

---

*) Отчетъ Гидрометр. Части въ Туркест. Кр. за 1911 г., т.I, стр.888.

**) Матерiалы, издав. Управл. Гидрометр. Ч. въ Кар. Р., Вып. 23.

двухъ тяжелыхъ призматическихъ брусковъ B и C (черт. 235), которые подвѣшены на перекинутой черезъ блокъ проволокѣ и нижнею частью погружены въ воду. Пусть площадь сѣченія бруска B = m больше, чѣмъ бруска C = n. Если горизонтъ воды повысится на $\Delta H$, перейдя изъ положенія I во II (черт. 235 a), то, по закону Архимеда, вѣсъ бруска B уменьшится на вѣсъ воды въ объемѣ затопленной части бруска: $m.\Delta H.\delta$ (гдѣ $\delta$ - удѣльный вѣсъ воды), вѣсъ же бруска C уменьшится на $n.\Delta H.\delta$. Брусокъ C перетянетъ брусокъ B и перемѣстится внизъ на разстояніе $\Delta h$, пока не возстановится равновѣсіе. Потеря въ вѣсѣ бруска B окажется - $m\ (\Delta H - \Delta h)\ \delta$, бруска C - $n\ (\Delta H + \Delta h)\ \delta$; для равновѣсія необходимо, чтобы

$$m\ (\Delta H - \Delta h)\delta = n\ (\Delta H + \Delta h)\ \delta$$

или

$$\frac{m}{n} = \frac{\Delta H + \Delta h}{\Delta H - \Delta h} = z$$ (отношеніе площадей сѣченій брусковъ);

отсюда уменьшеніе масштаба перемѣщенія брусковъ по отношенію къ измѣненію высоты горизонта:

$$\frac{\Delta h}{\Delta H} = \frac{z - 1}{z + 1} = c \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (252)$$

причемъ $c$ для призматическихъ брусковъ постоянное. Перемѣщенія брусковъ можно учитывать или по дѣленіямъ блока E, или по рейкѣ противъ какого-либо указателя F. Въ зависимости отъ требуемаго уменьшенія масштаба подбираются размѣры сѣченій брусковъ. Можно бруски сдѣлать не призматическими, а съ перемѣнною площадью сѣченія, и разсчитать ихъ, напр., такъ, чтобы при каждомъ положеніи уровня отсчетъ давалъ непосредственно величину расхода (въ зависимости отъ построенной кривой расхода). Длина брусковъ должна быть такова, чтобы при всѣхъ возможныхъ положеніяхъ высоты горизонта они не выходили изъ воды.

## § 120. ЛИМНИГРАФЫ.

Саморегистрирующіе водомѣрные посты представляютъ изъ себя приспособленіе передаточныхъ постовъ для непрерывной записи показаній прибора. Указатель высоты горизонта замѣняется карандашемъ или спеціальнымъ рейсфедеромъ K (черт. 236), отмѣчающимъ свое положеніе по высотѣ на бумажной лентѣ, которою обернутъ цилиндръ A.

Цилиндръ этотъ приводится въ медленное вращательное движеніе часовымъ механизмомъ В. Въ зависимости отъ деталей конструкціи лимниграфа могутъ быть подраздѣлены *) на 4 типа:

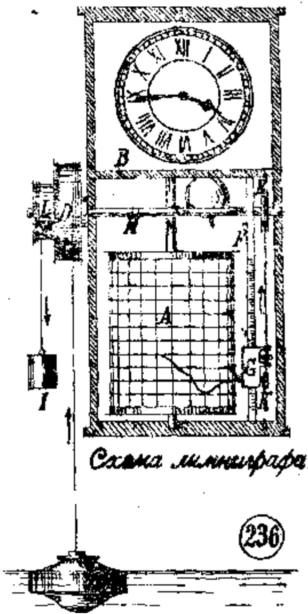


Схема лимниграфа.
236

1) Нѣмецкіе (Гаслера, Зейбта-Фюсса, Ганнера, Отта), схема которыхъ изображена на черт. 236. Цилиндръ приводится во вращеніе вокругъ вертикальной оси часовымъ механизмомъ (обычно часы съ маятникомъ). Передвиженіе указателя G производится по линейкѣ F при посредствѣ проволоки, наматываемой на валъ В, который имѣетъ общую ось съ валомъ. Внизъ указатель G опускается по собственной тяжести или при посредствѣ груза. Иногда этотъ указатель прикрѣпляется къ линейкѣ, передвигаемой зубчатою передачей. Цилиндръ дѣлаетъ полный оборотъ, смотря по конструкціи, въ сутки, недѣлю или мѣсяцъ; соотвѣтственно этому нанесены вертикальныя графы клѣтчатки, прикрѣпляемой къ цилиндру; горизонтальныя линіи указываютъ въ опредѣленномъ масштабѣ высоту уровня воды. Карандашъ или рейсфедеръ (трубчатый) чертитъ на лентѣ непрерывную линію - графикъ колебанія горизонта воды по времени, т.наз. лимниграмму. Въ нѣкоторыхъ приборахъ карандашъ замѣненъ наколкою, которая черезъ нѣкоторые промежутки по времени дѣлаетъ уколы; лимниграмма получается пунктирной.

2) Французскіе (Ришара), въ которыхъ перемѣщеніе поплавка передается шестернею T (черт. 237) зубчатому сектору S и рычагу съ рейсфедеромъ K. Цилиндръ A приводится въ вращательное движеніе помѣщеннымъ внутри него пружиннымъ часовымъ механизмомъ.

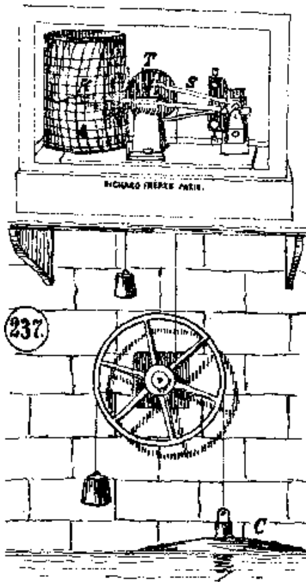
3) Шведскіе - запись производится на плоскомъ дискѣ, замѣняющемъ цилиндръ.

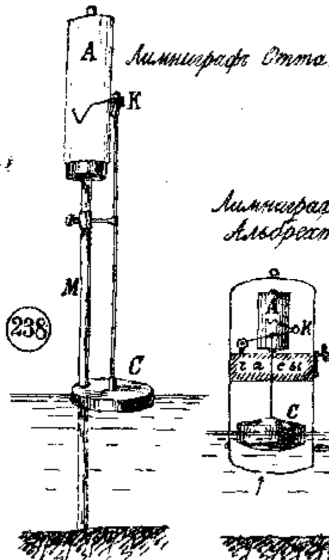
4) Американскіе - съ горизонтальною осью вращенія барабана, черезъ который проходитъ бумажная лента неограниченной длины; перемѣщеніе рейсфедера производится валомъ съ винтовой нарѣзкой.

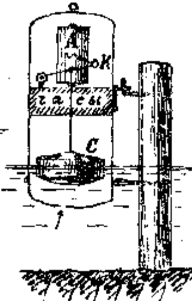
Кромѣ этихъ типовъ, извѣстенъ цѣлый рядъ лимниграфовъ, основанныхъ на пневматической и др. передачахъ. Достоинства „вѣсовой" и „дифференціальной" передачъ дѣлаютъ ихъ вполнѣ пригодными для

---

*) В. Архіепископовъ. Водомѣрные посты. ч. I.





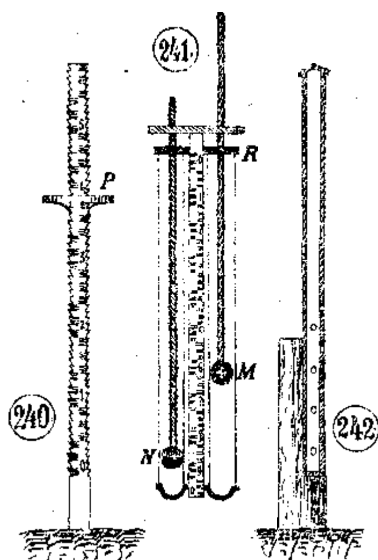

лимниграфовъ.

Въ виду высокой стоимости и сложности конструкціи лимниграфовъ, они устанавливаются лишь на постоянныхъ гидрометрическихъ станціяхъ и требуютъ сооруженія колодца для поплавка (черт.231) и дополнительнаго водомѣрнаго поста (простого типа) для контроля записей и введенія поправокъ. Кромѣ постоянныхъ лимниграфовъ (съ уменьшеніемъ масштаба записи высоты уровня), при гидрометрическихъ изслѣдованіяхъ иногда примѣняются временные переносные лимниграфы для записи состоянія горизонта воды въ продолженіе измѣренія расхода. Лимниграфъ Отта (черт.238) устанавливается на раздвижной штангѣ M и записываетъ на цилиндрѣ A колебанія поплавка C въ натуральную величину при посредствѣ карандаша K. Лимниграфъ Альбрехта (черт. 239) увеличиваетъ масштабъ записи и пригоденъ для небольшихъ колебаній высоты горизонта.

## § 121. АВТОМАТИЧЕСКІЯ РЕЙКИ.

Къ саморегистрирующимъ водомѣрнымъ приспособленіямъ необходимо отнести несложные приборы, служащіе для указанія крайнихъ положеній горизонта - наивысшаго или наинизшаго за опредѣленный промежутокъ времени.

Рейка системы инж. Фролова (Черт. 240) снабжена зубцами, въ которые упираются пружины поплавка P; поплавокъ поднимается вмѣстѣ съ уровнемъ воды, а опускаться не можетъ, слѣд. указываетъ наивысшее положеніе горизонта. Рейка системы техн. Владычанскаго (черт.



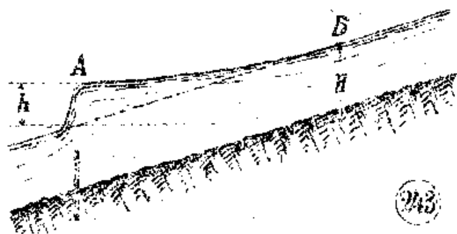

241) снабжена двумя поплавками M и N, къ которымъ прикрѣплены зубчатыя реечки, какъ въ приборѣ Фролова; зубцы ихъ направлены въ разныя стороны, поплавокъ M можетъ только подниматься, N - только опускаться. У верхняго края коробки R, въ которой находятся задерживающія пружины, дѣлаются отсчеты по дѣленіямъ зубчатыхъ реечекъ. Третья рейка - постоянная, служитъ для наблюденій надъ горизонтомъ въ моменты посѣщенія поста наблюдателемъ.

Для регистраціи наивысшаго подъема воды за продолжительный періодъ (напр.за годъ) примѣняются рейки, окрашиваемыя легко смываемой краской. Для защиты отъ дождей окраска наносится на одной изъ внутреннихъ стѣнокъ продолговатаго ящика (система инж. Влизняка, черт. 242) съ отверстіями, прикрѣпляемаго къ стволамъ деревьевъ или сваямъ. Лучшею окраскою является густо разведенный мѣлъ по черному лаку или же древесный уголь по некрашенному дереву. Вода, проникая черезъ отверстія въ ящикъ, смываетъ мѣлъ или уголь и оставляетъ рѣзкій слѣдъ наивысшаго положенія горизонта.

## § 122. ВЫБОРЪ МѢСТА ПОДЪ ВОДОМѢРНЫЕ ПОСТЫ.

Водомѣрные посты, устраиваемые для наблюденій надъ колебаніями высоты уровня морей и озеръ, требуютъ лишь того, чтобы не сказывалось вліяніе какихъ-либо постороннихъ факторовъ, насколько это возможно устранить. Водомѣрные же посты на рѣкахъ, каналахъ и т.п. и цѣлью которыхъ является учетъ воды при посредствѣ кривой расхода, (см. § 105) требуютъ внимательнаго выбора мѣста, чтобы опредѣленіе расхода по высотѣ горизонта могло быть произведено безъ чрезмѣрныхъ погрѣшностей. Поэтому первое требованіе для водомѣрнаго поста - возможная неизмѣняемость русла, иначе придется часто вычерчивать новую кривую расхода (см. § 109). Чтобы опредѣляемая по кривой расхода величина была близка къ истинной, должны быть устранены тѣ причины, которыя нарушаютъ нормальныя условія движенія воды, а именно: непостоянный по величинѣ подпоръ отъ искусственныхъ сооруженій, уровня

ди въ озерѣ или рѣкѣ, ледяныхъ заторовъ, перекатовъ и т.д., а также вліяніе вѣтра и негоризонтальность поверхности воды по ширинѣ рѣки *). Въ связи съ этимъ приходится водомѣрный постъ располагать выше предѣловъ вліянія подпора, распространеніе котораго вычисляется по таблицамъ Дюпуи-Рюльмана или Толкмитта, для чего необходимо измѣрить высоту подпора и продольный уклонъ рѣки. Приближенно, принимая кривую подпора за параболу, можно считать, что вліяніе подпора распространяется на высоту вдвое больше высоты подпора, т.е. H = 2 h (черт. 243); водомѣрный постъ можетъ быть расположенъ не ближе, чѣмъ въ точкѣ В, если препятствіе, создающее подпоръ, находится въ А. Если по какимъ-нибудь обстоятельствамъ придется постъ устроить въ предѣлахъ участка АВ, то надо устроить еще два поста вблизи А - выше и ниже по теченію, и вводить поправки въ результаты измѣреній на водомѣрномъ посту въ зависимости отъ величины подпора, учитываемой дополнительными постами.



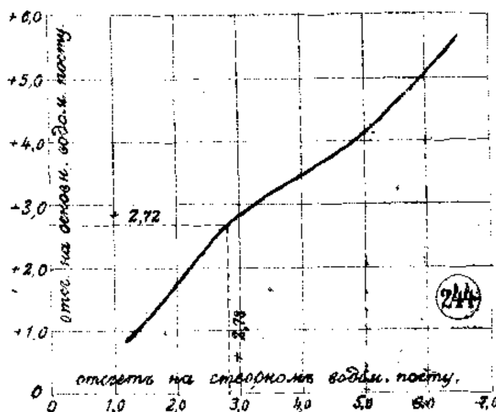

Чтобы на высоту горизонта воды у водомѣрнаго поста не вліялъ вѣтеръ, рекомендуется избѣгать длинныхъ открытыхъ участковъ рѣкъ, на озерахъ и водохранилищахъ устраивать контрольный постъ на противоположномъ берегу. Точно также слѣдуетъ избѣгать крутыхъ изгибовъ русла и участковъ у впаденія притоковъ, на которыхъ замѣтенъ поперечный уклонъ поверхности воды, непостоянный при различныхъ положеніяхъ высоты горизонта.

## § 123. СТВОРНЫЙ ВОДОМѢРНЫЙ ПОСТЪ.

Условія для выбора мѣста подъ водомѣрный постъ значительно отличаются отъ требованій, предъявляемыхъ при выборѣ участка для измѣренія расхода (см. §§ 68 и 69). Главное условіе для измѣренія расхода - правильное параллельноструйное теченіе, для наблюденія надъ высотою горизонта - неизмѣняемость русла. Если одновременно одно и то же мѣсто не удовлетворяетъ этимъ условіямъ, намѣчаются отдѣльно

*) *Инструкція для выбора мѣста подъ водомѣрные посты, Гидрометр.Ч. въ Вер. Россіи.*

створное сѣченіе и водомѣрный постъ въ такомъ мѣстѣ, которое будетъ наивыгоднѣйшимъ для каждаго изъ нихъ *). Въ этомъ случаѣ между створнымъ сѣченіемъ и водомѣрнымъ постомъ не должно быть притоковъ; по практическимъ соображеніямъ желательно, чтобы разстояніе между ними было возможно меньше (до 3 верстъ). Въ створномъ сѣченіи устраивается „створный" водомѣрный постъ, по которому наблюденія производятся только во время измѣренія расходовъ. Чтобы измѣренные расходы отнести къ показаніямъ „основного" водомѣрнаго поста, производятся параллельныя наблюденія на обоихъ постахъ или во время самаго измѣренія расхода, или предварительно, въ результатѣ чего вычерчивается „кривая соотвѣтствующихъ горизонтовъ" (черт. 244), по которой опредѣляется показаніе на основномъ посту въ зависимости отъ отсчета на створномъ, или же вычисляется время предваренія или опозданія высоты горизонта на одномъ посту по сравненію съ другимъ.




## § 124. УКЛОННЫЙ ВОДОМѢРНЫЙ ПОСТЪ.

Для наблюденія надъ колебаніями продольнаго поверхностнаго уклона, которыя, какъ указано въ § 110, оказываютъ вліяніе на опредѣленіе величины расхода по кривой расхода, а также имѣютъ значеніе при опредѣленіи коэффиціентовъ шероховатости (см. § 102), устраиваются два водомѣрныхъ поста на нѣкоторомъ разстояніи одинъ отъ другого, составляющіе „уклонный" постъ. Требованіе при выборѣ участка для уклоннаго поста - постоянство уклона и вообще характера рѣки. Если створное сѣченіе расположено на удобномъ для наблюденій надъ уклономъ участкѣ, то нерѣдко оба поста, составляющіе уклонный, располагаются на равныхъ разстояніяхъ отъ створа вверхъ и внизъ по теченію; вообще же это необязательно. Посты связываются нивеллиров-

*) В. Глушковъ. Условія, которымъ должно удовлетворять расположеніе гидрометрическаго поста.

кою и часто нули ихъ располагаются на одной и той же высотѣ, чтобы разность показаній постовъ давала непосредственно величину паденія рѣки. Такъ какъ уклоны рѣкъ очень незначительны (отъ 0.001 до 0.0001, а въ нижнемъ теченіи даже до 0.000001) то необходимо предъявлять высокія требованія какъ къ нивеллировкѣ, связывающей посты, такъ къ наблюденіямъ надъ высотою горизонта и надзору за состояніемъ постовъ. Величина уклона опредѣляется по формулѣ:

$$i = \frac{H}{L},$$

гдѣ H - разность отмѣтокъ поверхности воды на постахъ, L - разстояніе между постами, которое можно считать измѣряемымъ достаточно точно. Ошибка въ опредѣленіи уклона въ зависимости отъ неточности измѣренія H:

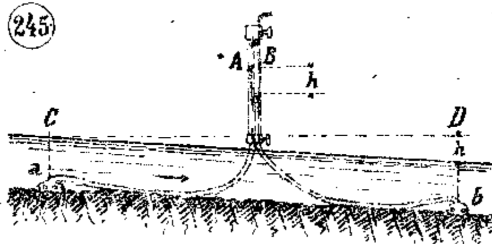
$$di = \frac{dH}{L}.$$

Пусть уклонъ рѣки равенъ 0.00010; зададимся точностью его опредѣленія въ 10% т.е. $di = 0.1\ i = 0.00001$ - при разстояніи L = 1000 саж. Для этихъ условій паденіе H необходимо опредѣлить съ точностью

$$dH = 0{,}001 \text{ саж.}$$

Между тѣмъ точность опредѣленія высоты горизонта на обыкновенныхъ постахъ - 0.005 - 0.01 саж., при примѣненіи болѣе сложныхъ приспособленій (рейка съ крючкомъ, рейка Соколова) - до 0.0005 саж.; нивеллировка же на разстояніи 1000 саж. можетъ дать неточность отъ 0.010 до 0.018 саж.(техническая нивеллировка - по прусскимъ нормамъ), т.е. значительно превышающую dH. Поэтому необходимо или выбрать величину L въ зависимости отъ возможнаго значенія dH, или связать посты прецизіонною нивеллировкою (для приведенныхъ выше данныхъ неточность будетъ около 0.0007 саж.), или же измѣрять колебанія паденія не считаясь съ абсолютнымъ его значеніемъ и только производить точнѣе, насколько возможно, наблюденія на постахъ.

Такъ какъ уклонный постъ, въ общемъ случаѣ, даетъ возможность производить наблюденія надъ колебаніями уклона только у одного изъ береговъ (иногда устраиваются два уклонныхъ поста на противоположныхъ берегахъ рѣки, чтобы устранить вліяніе поперечнаго уклона), а наиболѣе важенъ уклонъ рѣки на стрежнѣ, часто значительно отличающійся отъ прибрежныхъ, то при точныхъ работахъ находитъ примѣненіе




приборъ Айслера; онъ состоитъ изъ двухъ стеклянныхъ трубокъ и В (черт.245), къ которымъ присоединены резиновыя трубки съ пріемными камерами а и b, опускаемыми на дно и открытыми снизу. Вода въ трубкахъ, достигающая высоты уровня въ точкахъ С и D, поднимается для удобства отсчета высасываніемъ воздуха, какъ въ трубкѣ Дарси (§ 30); разность уровней, отсчитанная по шкалѣ, даетъ паденіе рѣки между точками С и D, выбираемыми на любомъ разстояніи по ширинѣ рѣки.

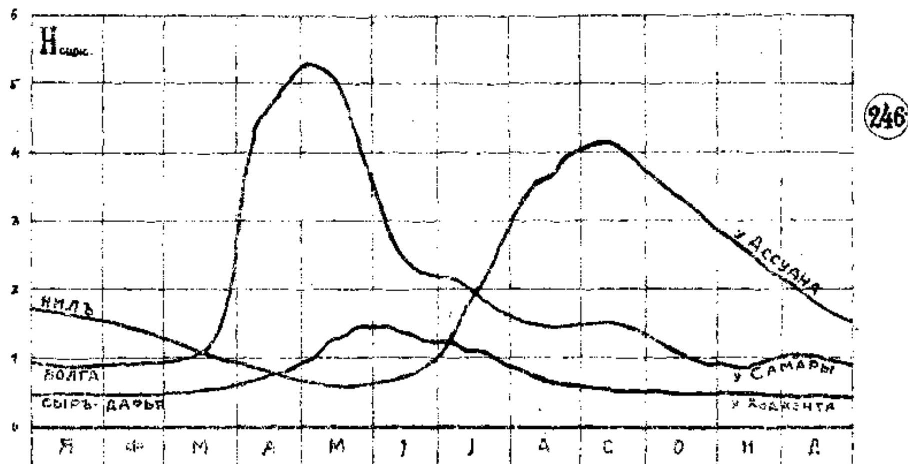
## § 125. ЗИМНІЯ ВОДОМѢРНЫЯ НАБЛЮДЕНІЯ.

Кромѣ обычныхъ наблюденій надъ колебаніями высоты горизонта воды, зимою производится рядъ дополнительныхъ наблюденій, необходимыхъ для изученія режима рѣкъ въ это время. Такъ, регистрируются моменты образованія льда, вскрытія рѣкъ, ледохода и сопровождающія ихъ обстоятельства; въ продолженіе ледостава (существованія ледяного покрова) производятся наблюденія надъ толщиной льда и относительнымъ положеніемъ уровня воды. Методы этихъ наблюденій и типы приборовъ - ледомѣрныхъ реекъ - указаны въ § 83. Рейки или сваи водомѣрныхъ постовъ во избѣжаніе обмерзанія и повреждеція при вскрытіи рѣки, а также для производства отсчетовъ, должны постоянно очищаться ото льда. Чтобы не замерзала вода въ лимниграфныхъ колодцахъ, ее согрѣваютъ, опуская въ колодецъ лампу.

## § 126. ОБРАБОТКА ВОДОМѢРНЫХЪ НАБЛЮДЕНІЙ. ГРАФИЧЕСКІЙ МЕТОДЪ.

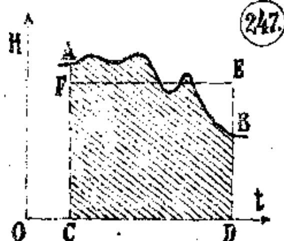
Въ § 109 указаны способы опредѣленія расхода на основаніи водомѣрныхъ наблюденій, съ цѣлью построенія графика колебанія расхода по времени (см. § 105). Кромѣ того водомѣрныя наблюденія сами по себѣ даютъ богатый матеріалъ для изученія режима рѣкъ, озеръ, морей и т.п. Обработка ихъ, внѣ зависимости отъ учета воды, изложена здѣсь лишь въ общихъ чертахъ.

При обработкѣ водомѣрныхъ наблюденій примѣняются вычислительный и графическій методы; послѣдній обладаетъ многими преимуществами вслѣдствіе наглядности даваемыхъ имъ результатовъ. Въ простѣйшемъ случаѣ по даннымъ наблюденій на водомѣрномъ посту вычерчивается лимниграмма - графикъ колебанія высоты горизонта по времени; лимниграфъ автоматически чертитъ такую лимниграмму, однако запись его нерѣдко нуждается въ исправленіи и приведеніи, а слѣд. и въ перестроеніи. Уже самый видъ лимниграммы даетъ представленіе о характерѣ рѣки. Такъ, на черт. 246 изображены примѣрныя годовыя лим-



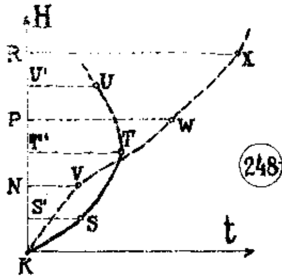

нограммы рѣкъ съ различнымъ характеромъ питанія - Волги, Нила Сыръ-Дарьи, приблизительно на одномъ и томъ же разстояніи отъ устья.

Для опредѣленія средней за опредѣленное время высоты горизонта площадь, ограниченная кривою AB (черт. 347), двумя крайними ординатами AC и BD и осью абсциссъ, замѣняется равновеликимъ прямоугольникомъ FCDE; высота его CF будетъ равна средней высотѣ горизонта (см. черт.249). Опредѣленіе площади, ограниченной графикомъ колебаній высоты горизонта производится планиметромъ; для этой цѣли особенно пригоденъ линейный планиметръ системы Романа-Коради.

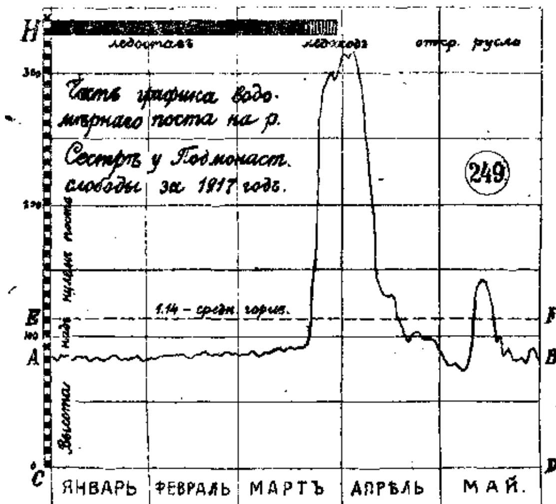



При изслѣдованіяхъ режима рѣкъ за исходный періодъ принимается гидрологическій годъ (часто не совпадающій съ гражданскимъ), который дѣлятъ на 3-4 части, соотвѣтствующія мѣстнымъ условіямъ; обра-

ботка ведется въ отдѣльности какъ по этимъ частямъ, такъ и по мѣсяцамъ или декадамъ (10 дней), а также и для цѣлаго года. Для каждаго періода устанавливаются высшее, низшее и среднее положенія горизонта, которыя сравниваются съ результатами другихъ лѣтъ и служатъ для вывода среднихъ величинъ.




Въ послѣднее время построенію графика колебаній высоты горизонта предпочитаютъ построеніе графика продолжительности стоянія горизонта. Для этого сначала по высотамъ уровня, какъ ординатамъ, и числу дней, въ которые вода достигала каждой изъ этихъ высотъ, какъ абсциссамъ, строится кривая повторяемости горизонтовъ; такъ, если горизонтъ выше K, но ниже N (черт. 248), былъ въ теченіе $a_1$ дней, то число это откладывается въ видѣ отрѣзка S' S; между N и P пусть горизонтъ былъ $a_2$ дней что изображается абсциссою T'T, и т.д. Черезъ точки S, T, U.... проводится кривая, выражающая съ точностью до величины интервала KN число дней, въ теченіе котораго горизонтъ находился на различной высотѣ. Если затѣмъ постепенно суммировать число дней, въ теченіе котораго горизонтъ воды стоялъ ниже каждой изъ высотъ N, P, R...., и откладывать эти числа, какъ абсциссы на соотв. высотѣ, напр.

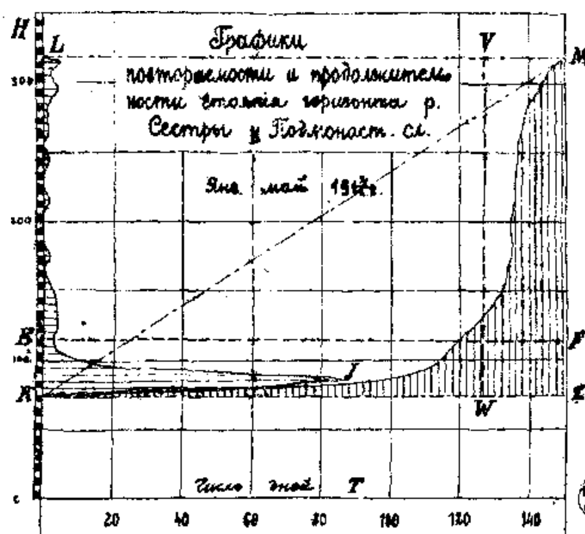



$NV = S'S = a_1$

$PW = NV + T'T = a_1 + a_2$

$RX = PW + U'U = a_1 + a_2 + a_3$, и т.д.

то кривая, проведенная черезъ точки K, V, W, X... и будетъ кривою продолжительности стоянія горизонта или, какъ ее называютъ нѣмцы, кривою покрытія (рейки водою) (Benetzungskurve), т.к. она выражаетъ собою время, въ теченіе котораго водомѣрный постъ былъ покрытъ водою до любой высоты, т.е. горизонтъ былъ не выше ея.




Въ качествѣ примѣра по тѣмъ даннымъ, по которымъ построенъ черт. 249, на черт. 250 проведены: кривая повторяемости горизонтовъ KJL и кривая продолжительности стоянія горизонта KM. Опредѣленіе средней скорости дѣлается, какъ и выше, замѣною площади, ограничиваемой кривою KM, крайними ординатами и осью абсциссъ или абсциссою KZ, равновеликимъ прямоугольникомъ KEFZ. Если площадь KZM замѣнить прямоугольникомъ MZWV съ высотою, равною разности крайнихъ горизонтовъ, то основаніе его $WZ = T_n$, называемое среднею продолжительностью стоянія, служитъ для характеристики многоводности года по отношенію къ нормальной многоводности, для которой кривая KM должна обратиться въ прямую, и $T_n = \frac{1}{2}T$ (гдѣ T — продолжительность періода, равная абсциссѣ KZ).

Для возможности сравненія результатовъ періодовъ различной продолжительности иногда по оси абсциссъ откладывается число дней относительное, въ процентахъ отъ T.

Методъ построенія графиковъ продолжительности стоянія примѣняется точно также при графическомъ изображеніи колебаній расхода; взамѣнъ графика колебаній (черт.204) вычерчивается графикъ продолжительности стоянія расхода.

## § 127. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ МЕТОДЪ ОБРАБОТКИ ВОДОМѢРНЫХЪ НАБЛЮДЕНІЙ.

Обычно водомѣрныя наблюденія на простыхъ постахъ производятся 1 разъ въ сутки (по бытовымъ соображеніямъ въ 7 или 8 час. утра); отсчетъ въ это время принимается за среднее значеніе высоты для сутокъ; иногда вводятся поправки за неравенство промежутковъ отъ времени наблюденія до начала и конца сутокъ; такъ, при наблюденіяхъ въ

7 час. утра для опредѣленія средней высоты за сутки $H_m$ къ отсчитанной величинѣ $H$ прибавляется поправка

$$H_m = H + \frac{1}{24}(H_н + 6H_з - 7H) \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (253)$$

за высоту горизонта наканунѣ $H_н$ и на слѣдующій день $H_з$.

При большихъ колебаніяхъ горизонта, какъ во время паводковъ, половодій и т.п., наблюденія производятся три раза въ день *), напр. въ 7 ч. утра, 1 ч. дня и 7 ч. вечера; въ послѣднемъ случаѣ средняя высота горизонта $H_m$ вычисляется, по Глушкову, какъ среднее ариеметическое трехъ отсчетовъ съ прибавленіемъ поправки:

$$H_m = \frac{1}{3}(H_у + H_д + H_в) + \frac{1}{12}(H_у - H_в), \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (254)$$

гдѣ $H_у$, $H_д$, $H_в$ - отсчеты въ три „срочныхъ" часа наблюденій - утромъ, днемъ и вечеромъ, или, съ учетомъ вліянія наблюденій наканунѣ вечеромъ $H_н$ и утромъ на слѣдующій день $H_з$:

$$H_m = \frac{1}{3}(H_у + H_д + H_в) + \frac{1}{12}(H_н - H_в) + \frac{1}{24}(H_з - H_у) \; . \; . \; . \quad (255)$$

При примѣненіи автоматическихъ реекъ (§ 121), указывающихъ наивысшее и наинизшее положенія уровня $H_{max}$ и $H_{min}$ въ промежутокъ времени между двумя „срочными" наблюденіями $H_1$ и $H_2$, за среднюю суточную *высоту горизонта приближенно принимается* среднее ариеметическое изъ четырехъ отсчетовъ:

$$H_m = \frac{1}{4}(H_1 + H_2 + H_{max} + H_{min}). \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (256)$$

Средняя высота горизонта для какого-либо періода опредѣляется, какъ среднее ариеметическое *вычисленныхъ для каждаго дня* $H_m$. Кромѣ такой средней, иногда не характеризующей собою относительнаго состоянія горизонта, примѣняется вычисленіе другихъ величинъ: значенія $H_m$ располагаются въ возрастающій рядъ, и дѣлятся на четыре равныя части; числа, разграничивающія эти части, будутъ: низшій горизонтъ, первая квадрильяна, медіана, вторая квадрильяна и высшій горизонтъ. Такъ, для декады: 81, 81, 83, 84, 84, 88, 93, 99, 105, 111 - среднее ариѳм. = 91, медіана = 86, I квадр. = 83, II квадр. = 99. Разности между этими средними характеризуютъ степень симметричности хода изучаемаго явленія. Такія среднія вычисляются для каждой декады или мѣсяца; изъ результатовъ за рядъ лѣтъ вычисляются

---

**) На многихъ постахъ наблюденія ведутся постоянно 3 раза въ день, а при большихъ колебаніяхъ чаще.*

этимъ же путемъ среднія, которыя даютъ возможность сравнивать съ ними среднія каждаго года и вычислять вѣроятность появленія того или другого явленія. Напримѣръ, для многихъ цѣлей гидротехники и дорожнаго дѣла чрезвычайно важнымъ является установленіе средняго наивысшаго горизонта и, путемъ изученія амплитуды его колебаній, вычисленія вѣроятнѣйшаго абсолютно-наивысшаго горизонта. Точно также для разсчетовъ гидравлическихъ установокъ необходимо опредѣленіе вѣроятнѣйшаго значенія низкаго „промышленнаго" горизонта, ниже котораго вода бываетъ не больше 10 дней въ году и т.д.

## *ГЛАВА XIV. ТОЧНОСТЬ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХЪ ИЗМѢРЕНІЙ.*

### § 128. ИСТОЧНИКИ ОШИБОКЪ.

Опытнымъ изслѣдованіямъ всякаго рода свойственные грубыя ошибки, ошибки измѣреній и ошибки метода.

Грубыя ошибки происходятъ отъ просчетовъ при наблюденіяхъ и вычисленіяхъ, невнимательности наблюдателя, порчи инструментовъ и т.д.; онѣ могутъ быть обнаружены повторнымъ измѣреніемъ или сравненіемъ съ другими результатами, особенно при примѣненіи графическихъ методовъ вычисленія, и должны быть такъ или иначе устранены.

Ошибки измѣреній, это - неизбѣжныя погрѣшности, которыя зависятъ отъ несовершенства инструментовъ, личныхъ недостатковъ наблюдателей и внѣшнихъ условій; онѣ могутъ быть подраздѣлены на систематическія и случайныя. Систематическія ошибки устраняются или введеніемъ поправокъ путемъ сравненія съ другими, свободными отъ этихъ погрѣшностей, результатами, или же примѣненіемъ метода, исключающаго ихъ вліяніе; учетъ случайныхъ ошибокъ составляетъ задачу „способа наименьшихъ квадратовъ", основаннаго на томъ, что при большомъ числѣ измѣреній одной и той же величины сумма положительныхъ ошибокъ очень близка къ суммѣ отрицательныхъ. Изученіе систематическихъ и случайныхъ погрѣшностей измѣреній широко распространено при геодезическихъ, астрономическихъ и др. измѣреніяхъ; въ нѣкоторыхъ случаяхъ тѣ же основы могутъ быть приняты и при гидрометрическихъ измѣреніяхъ, основное отличіе которыхъ заключается въ непрерывномъ измѣненіи изслѣдуемыхъ величинъ по неизвѣстнымъ или недостаточно изученнымъ сложнымъ законамъ.

Ошибки, происходящія отъ примѣненія при измѣреніи перемѣнной

величины того или иного способа измѣренія постоянныхъ величинъ, а также отъ допущенія неправильныхъ или упрощенныхъ законовъ измѣненія изслѣдуемыхъ явленій, носитъ названіе ошибокъ метода. Эти ошибки не могутъ быть исключены ни многократными наблюденіями, ни усовершенствованіемъ инструментовъ или выборомъ благопріятныхъ внѣшнихъ условій; между тѣмъ онѣ играютъ едва ли не главную роль въ погрѣшностяхъ гидрометрическихъ измѣреній. Для учета и исключенія ошибокъ метода необходимы исчерпывающія изслѣдованія какъ въ искусственной обстановкѣ - въ гидравлическихъ лабораторіяхъ, такъ и въ естественныхъ условіяхъ, и притомъ не только основныя изслѣдованія въ единичныхъ мѣстахъ - на постоянныхъ гидрометрическихъ станціяхъ, но и болѣе облегченныя въ каждомъ отдѣльномъ мѣстѣ измѣреній. Въ результатѣ такихъ изслѣдованій необходимо установленіе соотвѣтствующихъ методовъ наблюденій и ихъ обработки, иначе ошибки метода, значеніе которыхъ нерѣдко можетъ превзойти грубыя ошибки, поглотятъ сравнительно незначительныя систематическія и случайныя погрѣшности измѣреній, для устраненія или уменьшенія которыхъ тратится много времени и средствъ.

Въ противоположность ошибкамъ измѣреній, вопросъ объ ошибкахъ метода разработанъ очень мало, хотя имъ занимались уже многіе изслѣдователи; поэтому въ дальнѣйшемъ изложеніи даны лишь нѣкоторыя основныя положенія самаго общаго характера.

## § 129. НЕТОЧНОСТИ ПРИ ИЗМѢРЕНІИ СКОРОСТЕЙ.

Измѣреніе скоростей гидрометрическими приборами слагается изъ слѣдующихъ дѣйствій:

1) установка прибора,
2) опредѣленіе времени,
3) отсчеты показаній прибора,
4) опредѣленіе скорости на основаніи результатовъ тарировки.

Каждому изъ этихъ дѣйствій свойственны погрѣшности измѣреній и метода.

1) Погрѣшности въ установкѣ прибора, въ зависимости отъ типа его (см. гл. II), могутъ заключаться въ неточномъ опредѣленіи глубины погруженія прибора и разстоянія по ширинѣ рѣки (напр. поплавки) и оріентированіи оси (вертушекъ) или входного отверстія (тру-

бокъ и батометровъ); сюда же относится вліяніе оборудованія створнаго сѣченія, какъ подпоръ понтона или моста вблизи опоръ, дрожаніе люльки или подвѣсного мостика, качка лодки или понтона и т.д., а также способа установки прибора - на троссѣ, стоячей или подвѣсной штангѣ (подпоръ и дрожаніе штанги, угонъ тросса, вліяніе груза, руля и т.п.). Изслѣдованіе ошибокъ этого рода достигается сравненіемъ результатовъ примѣненія приборовъ различныхъ типовъ и конструкцій въ разнообразныхъ условіяхъ оборудованія измѣреній.

Ошибки метода могутъ имѣть мѣсто при „свободной" оріентировкѣ прибора по теченію (см. § 43), а также при косомъ направленіи струй по отношенію къ оси или входному отверстію прибора въ случаѣ неправильнаго выбора направленія створнаго сѣченія.

2) Ошибки при отсчетахъ времени въ началѣ и концѣ наблюденія слагаются изъ неточностей хронографа, секундомѣра или часовъ и личныхъ ошибокъ наблюдателя, отмѣчающаго моменты звонковъ, прохода поплавковъ черезъ створы и т.п. и соотвѣтств. имъ показанія секундомѣра или часовъ. При значительной продолжительности наблюденія относительная величина этихъ ошибокъ очень мала.

3) Ошибки въ отсчетахъ показаній прибора - неточности въ отсчетахъ по счетчику вертушки, въ измѣреніи объема воды въ батометрѣ, опредѣленіи длины пути поплавка - незначительны, и ихъ можно сравнить съ неточностью въ опредѣленіи времени (ср. § 75). Ошибки метода сказываются въ измѣреніи случайной величины скорости вслѣдствіе пульсаціи скоростей; онѣ могутъ быть уменьшены надлежащимъ выборомъ продолжительности наблюденія (см. § 85) или многократными отсчетами (при примѣненіи трубокъ и поплавковъ). Для опредѣленія средней за время наблюденія скорости берется среднее показаніе прибора, что въ предѣлахъ криволинейной зависимости между ними можетъ вызвать нѣкоторую погрѣшность. Въ зависимости отъ конструкціи прибора (напр. типа и вѣса лопастей вертушки), онъ можетъ „сглаживать" колебанія скоростей по величинѣ и направленію, сохраняя по инерціи опредѣленное состояніе; отъ этихъ же обстоятельствъ зависитъ чувствительность прибора; слѣдовательно, отъ качествъ конструкціи гидрометрическихъ приборовъ зависитъ въ значительной мѣрѣ степень точности измѣреній. Къ ошибкамъ

этого же рода относится цѣлый рядъ погрѣшностей, вызываемыхъ различными посторонними факторами, какъ вліяніе вѣтра на скорости теченія, вліяніе „мертвыхъ пространствъ", водоворотовъ, обратныхъ теченій и вообще вихреваго движенія воды, незначительности скоростей, когда показанія прибора являются случайными и т.д.

4) Ошибки, происходящія при опредѣленіи скорости по тарировочнымъ даннымъ, слагаются изъ неточностей тарировки и обработки ея результатовъ и неточностей при примѣненіи данныхъ тарировки. Ошибки измѣреній во время тарировки могутъ происходить при отсчетахъ времени и показаній прибора и измѣреніи разстояній. На тарировочныхъ станціяхъ, оборудованныхъ самопишущими приборами, измѣренія почти свободны отъ этихъ ошибокъ; даже при примѣненія упрощенныхъ способовъ тарированія можетъ быть достигнута достаточная степень точности надлежащей продолжительностью поѣздокъ. Значительно труднѣе учесть вліяніе методовъ тарированія (прямолинейное и особенно круговое движеніе въ стоячей водѣ, глубина погруженія прибора, типъ штанги, поддона и др. частей прибора и т.д.) .

Ошибки при обработкѣ результатовъ тарировки невелики по сравненію съ погрѣшностями, допускаемыми при пользованіи этими данными, такъ какъ здѣсь, кромѣ неизбѣжныхъ ошибокъ, значительное вліяніе оказываетъ несоотвѣтствіе условій тарировки и примѣненія прибора при измѣреніи скоростей, какъ-то непаралеллоструйное движеніе воды, различная температура, плотность и составъ воды; еще замѣтнѣе могутъ оказаться ошибки вслѣдствіе игнорированія измѣняемости постоянныхъ прибора.

На основаніи многочисленныхъ наблюденій можно считать, что при надлежащемъ оборудованіи измѣреніе скоростей можетъ быть сдѣлано съ относительною ошибкою въ 2%, въ худшихъ условіяхъ - до 5%; при невнимательномъ же отношеніи ошибки метода могутъ исказить результатъ даже болѣе, чѣмъ на 10%.

## § 130. НЕТОЧНОСТИ ПРИ ИЗМѢРЕНІИ ЖИВОГО СѢЧЕНІЯ.

Измѣреніе живого сѣченія состоитъ изъ промѣровъ глубинъ черезъ нѣкоторыя разстоянія по ширинѣ рѣки въ плоскости избраннаго сѣченія.

Ошибки при измѣреніи глубинъ зависятъ отъ типа промѣрнаго прибора (рейка, штанга или лотъ, троссъ), степени погруженія за дно (конструкція поддона-башмака или груза, характеръ дна, давленіе прибора) и точности отсчетовъ (вліяніе скорости, подпора волненія и т.д.)

При опредѣленіи разстояній между промѣрными вертикалями неточность заключается въ ошибкахъ при опредѣленіи положенія вертикалей по ширинѣ рѣки (размѣтка тросса, разбивка косыхъ створовъ, засѣчки) и ошибкахъ вслѣдствіе неточнаго совмѣщенія промѣрнаго прибора съ отмѣченной вертикалью.

Ошибки при промѣрахъ глубинъ и разстояній не превышаютъ 2%

## § 131. НЕТОЧНОСТИ ПРИ ВЫЧИСЛЕНІИ РАСХОДА.

Вычисленіе расхода, независимо отъ метода, заключается въ суммированіи произведеній частей площади живого сѣченія на среднюю скорость теченія въ предѣлахъ каждой изъ этихъ частей. Наиболѣе замѣтное вліяніе можетъ при этомъ оказать ошибка, происходящая отъ неодновременности измѣренія скоростей въ различныхъ точкахъ и допущенія плавности (и даже прямолинейности) измѣненія величины скорости между точками измѣреній; въ связи съ послѣднимъ обстоятельствомъ нѣкоторое преимущество представляютъ графическіе методы опредѣленія расхода, въ то время какъ аналитическимъ свойственны меньшія неточности вычисленій.

При примѣненіи метода Кульмана ошибки происходятъ при проведеніи изотахъ и при вычисленіи объемовъ по приближеннымъ формуламъ. Въ способѣ Гарлахера и приближенныхъ, представляющихъ его упрощеніе, существенныя ошибки возможны вслѣдствіе примѣненія формулъ для вычисленія средней скорости по вертикали.

Къ грубымъ ошибкамъ слѣдуетъ отнести неправильное примѣненіе формулъ для вычисленія средней скорости по поверхностной (см. § 41) и средней для всего живого сѣченія (см. § 56).

Ошибки въ величинѣ расхода тѣмъ меньше, чѣмъ чаще расположены вертикали (скоростныя и промѣрныя), чѣмъ большее число сдѣлано измѣреній скоростей и чѣмъ меньше ошибки въ измѣреніи какъ скоростей, такъ и элементовъ площади живого сѣченія.

Приблизительно можно считать точность опредѣленія расхода по измѣреннымъ въ дѣйствительности скоростямъ близкой къ 5%, въ лучшихъ случаяхъ - около 2%.

## § 132. НЕТОЧНОСТИ ВОДОМѢРНЫХЪ НАБЛЮДЕНІЙ.

При наблюденіяхъ надъ колебаніями высоты горизонта воды возможны ошибки, происходящія отъ измѣненія положенія водомѣрныхъ приспособленій, ошибки отсчетовъ и вычисленія средней за сутки высоты горизонта. Частыя повѣрки водомѣрнаго поста и надлежащій надзоръ должны устранить вліяніе перемѣнъ поста. Ошибки отсчетовъ, зависящія отъ волненія, вѣтра, подпора при большой скорости, удобства наблюденій и точности примѣняемыхъ приборовъ, обычно не превышаютъ той точности, съ которой дѣлаются отсчеты, т.е. 0.01 саж., рѣже до 0,005 саж. При примѣненіи передаточныхъ и самопишущихъ механизмовъ возможны неточности вслѣдствіе недочетовъ этихъ приспособленій, перемѣнъ въ длинѣ цѣпи или проволокъ и т.п.

## § 133. НЕТОЧНОСТИ КРИВЫХЪ РАСХОДА.

Измѣренія скоростей въ створномъ сѣченіи для построенія кривой расхода могутъ быть разсматриваемы, какъ „тарировка" створа. Поэтому, аналогично п. 4 § 129 здѣсь суммируются ошибки какъ въ самихъ измѣреніяхъ, такъ въ обработкѣ результатовъ и въ дальнѣйшемъ пользованіи кривою расхода. Всѣ соображенія относительно ошибокъ измѣреній и метода, изложенныя выше, пригодны и въ этомъ случаѣ, съ тою лишь разницею, что здѣсь обнаруживается вліяніе еще большаго числа различныхъ факторовъ, и нерѣдко кривою расхода приходится пользоваться распространительно - даже при тѣхъ условіяхъ, при какихъ не было сдѣлано измѣреній расхода (напримѣръ во время ледохода, сильнаго вѣтра и т.д.).

## ПРИЛОЖЕНІЕ.

## ЛИТЕРАТУРА ПО ВОПРОСАМЪ, ЗАТРОНУТЫМЪ ВЪ РУКОВОДСТВѢ.

Болѣе детальное и всестороннее изложеніе многихъ отдѣловъ гидрометріи можно найти въ многочисленныхъ монографіяхъ, отчетахъ, инструкціяхъ, курсахъ и т.п. трудахъ. Наиболѣе существенные изъ нихъ считаю необходимымъ привести въ видѣ краткаго указателя литературы, который можетъ быть полезенъ тѣмъ, кому придется работать въ области гидрометріи. Эта литература расположена по отдѣльнымъ главамъ руководства; во избѣжаніе повтореній, каждое изданіе отмѣчено номеромъ, на который въ другихъ главахъ имѣется ссылка.

### КЪ ВВЕДЕНІЮ И ГЛ. I.

[1]. В. Г. Глушковъ, проф. О гидрологіи (Гидрологическій Вѣстникъ, № 1, 1915.)

[2]. Гидрологія и Гидрометрія. Программы предметовъ Повторительныхъ Гидрометрическихъ Курсовъ при Управленіи Гидрометрической Части въ Евр. Россіи, 1915.

[3]. Н. Н. Жуковскій, инж. О современномъ состояніи и нуждахъ инженерно-гидрологическихъ изслѣдованій на рѣкахъ Россіи. М. 1916.

[4]. Инструкція состоящей при Отдѣлѣ Земельныхъ Улучшеній Гидрометрической Части въ Евр. Россіи.

[5]. Пояснительная записка къ инструкціи [4].

### КЪ ГЛАВѢ II. ВЕРТУШКИ.

Наиболѣе исчерпывающее описаніе гидрометрическихъ приборовъ (до 1901 г.) можно найти въ курсѣ:

[6]. И.Д.Тапкинъ, инж. Приборы для опредѣленія скоростей и расходовъ воды въ открытыхъ руслахъ (рѣкахъ и каналахъ) М. 1901.

Болѣе новые приборы описаны въ:
[7]. Н.Д.Тяпкинъ. Новѣйшіе приборы для измѣренія скорости теченія воды въ открытыхъ руслахъ (Докладъ Моск.Отд.Имп. Русск. Техн. Общ.) 1905.
[8]. Н.Д.Тяпкинъ. Новѣйшія улучшенія въ приборахъ для измѣренія скорости теченія воды въ открытыхъ руслахъ (Извѣстія И.Моск.Инжен.Учил., ч.II, в.I, М. 1908).
[9]. А.И.Астровъ, проф. Гидравлика. М.1911.
[10]. С.М.Соловьевъ, проф. Курсъ Низшей Геодезіи, 3 изд. М.1914.
[11]. Краткое руководство для производства и обработки гидрометрическихъ наблюденій Мюнхенскаго Гидрометрическаго Бюро. Пер.подъ ред. Е.В.Оппокова. П. 1913.
Изъ нѣмецкой литературы слѣдуетъ указать:
[12]. R. Jasmund. Fliessende Gewässer (Handbuch der Ingenieurwissenschaften, III Teil. Der Wasserbau, I Band. Die Gewässerkunde, изд. J.F.Bubendey. Leipzig, 1911).
[13]. A. Friedrich, Prof. Kulturtechnischer Wasserbau, I Band. Hydrographie. Berlin 1912.
[14]. W. Müller, Ing. Hydrometrie. Praktische Anleitung zur Wassermessung, neuere Messverfahren, Apparate und Versuche. Hannover, 1903.
[15]. R. Brauer. Die Grundzüge der praktischen Hydrographie. Hannover, 1907.
[16]. J. Epper, Ing. Dr. Die Entwicklung der Hydrometrie in der Schweiz. Bern. 1907.
а также [34], [39] и [81], т.2.

## ТАРИРОВКА ВЕРТУШЕКЪ.

[17]. А.Н.Крыловъ, инж. Тарировочная станція Казанскаго Окр. П.С. (Сборникъ 77 Каз. О.П.С. Матеріалы по работамъ гидротехн.изсл., вып. 6.Казань, 1915).
[18]. В.Г.Глушковъ, Описаніе тарировочнаго бассейна въ г. Ташкентѣ. см. [76], т. I.
[19]. В.И.Чарномскій, инж. Промѣры глубинъ и измѣреніе скоростей въ Невѣ на мѣстѣ расположенія предполагаемаго Охтенскаго моста въ Петербургѣ (Докладъ 8 съѣзду

рус. дѣятелей по воднымъ путямъ. П. 1907г.)
а также [6], [12], [14], [15], [16], [34], [81] т.1, [82] т.1, [83], [37], [38].

## БАТОМЕТРЫ, ТРУБКИ И ДР. ПРИБОРЫ.

[20]. Складной батометръ-тахиметръ проф. Глушкова для измѣренія скорости теченія и одновременнаго взятія пробы воды со взвѣшенными наносами. П.
[21]. В.Г.Глушковъ. Докладъ о наносахъ средней части р. Мургаба (12 съѣздъ рус. дѣятелей по воднымъ путямъ, П.1910)
[22]. Ю.В.Ланге, инж. Описаніе новой конструкціи трубки Дарси-Пито. (2 съѣздъ инженеръ-гидротехниковъ, т.III. П. 1913).
а также [6], [7], [9], [12], [13], [14].

## ПОПЛАВКИ.

[23]. Н.Н.Соколовъ, инж. По вопросу о методахъ и пріемахъ гидрометрическихъ работъ (Замѣтки о гидрометр.работахъ на р.Зеѣ въ 1907-1909 гг.) Матеріалы къ инструкціямъ по изслѣдованію водныхъ путей, вып. I подъ ред. Ж.А.Водарскаго, П.1912).
[24]. В.Г.Глушковъ. Поплавокъ-интеграторъ (Журналъ Отд. Статистики и Картографіи М.П.С. 1909 г. №XII).
[25]. В.Г.Глушковъ. Поплавокъ-интеграторъ, какъ простой приборъ для точнаго опредѣленія средней скорости теченія воды.[76], т. I.
[26]. Инструкція для измѣренія расхода воды поплавками (Гидрометр. Части въ Евр. Россіи).
[27]. В.В.Капелькинъ, инж. Измѣреніе теченія въ открытыхъ каналахъ (Изв.Собр.Инж. П.С., 1915 г. №23).
а также [6], [12], [16], [29], [34].

## КЪ ГЛАВѢ III.

[28]. Н.Н.Жуковскій, инж. О методахъ измѣренія скоростей и расходовъ воды въ большихъ открытыхъ руслахъ (Труды II съѣзда рус. дѣятелей по воднымъ путямъ. П. 1909).

[29]. С.И.Моисеенко. Проектъ воднаго пути между Камой и Иртышемъ. Отд. II. Изслѣдованія. Ч. II. Гидрометрическія работы (текстъ и чертежи) (Матеріалы для описанія русскихъ рѣкъ и исторіи улучшенія ихъ судоходныхъ условій, вып. 61) П. 1914.

[30]. А.Е.Коровинъ. Приборы для опредѣленія величины и направленія водныхъ струй на гидрометрическихъ станціяхъ р. Волги (Сборникъ 76 Казанскаго О.П.С. Матер. по раб. Отд. Гидротехн. изслѣд. вып. 5) Казань, 1915.

[31]. Н.С.Лелявскій, инж. Наблюденія надъ расположеніемъ рѣчныхъ струй помощью подводнаго флюгера на р. Днѣпрѣ у Екатеринослава въ 1893 г. (Труды II съѣзда гидротехниковъ. П. 1895, т. II).

[32]. Н.С.Лелявскій, инж. Описаніе прибора измѣрителя рѣчныхъ струй. (Труды II съѣзда гидротехниковъ. П. 1895, т. II).

[33]. Г. Баррозъ и Р. Хортонъ. Опредѣленіе зимняго расхода воды въ рѣчномъ потокѣ, пер. К.Г.Александровича (изъ Water-Supply and Irrigation Paper № 187, 1907) Особое приложеніе къ I вып. Трудовъ Коммисіи по электрогидравлической описи водныхъ силъ Россіи, изд. М.П.С. П. 1911.

[34]. И.И.Фидманъ и А.Е.Мафаловичъ. Описаніе гидрометрическихъ работъ при изслѣдованіяхъ р. Зеи въ 1907-1909 г. и р. Туры и Тобола въ 1910 г. (Матеріалы для описанія р.рѣкъ и т.д. вып.34) П.1912.

а также [12], [16].

## КЪ ГЛАВѢ IV.

[35]. Результаты наблюденій гидрометрическихъ станцій. Рѣка Волга. Самарская гидрометрическая станція. Подъ ред. Н.Н.Коломійцова. П.1899. Изд. М.П.С.

[36]. То же. Дубовская гидрометрическая станція. М. 1902.
[37]. Инструкціи для изслѣдованія водныхъ путей. Изд. Упр. Внутреннихъ Водныхъ Путей и Шосс. Дорогъ. Ч. III. Инструкція для производства работъ на постоянныхъ гидрометр. станціяхъ. П. 1914.
[38]. В.Г.Глушковъ, инж. Опредѣленіе расходовъ воды въ рѣкахъ по поверхностнымъ скоростямъ. [76], т. I.
а также [13], [6], [9], [11], [15], [16], [28], [26], [39].

## КЪ ГЛАВѢ V.

[39]. A.R.Harlacher, Prof. Die Messungen in der Elbe und Donau und die hydrometrische Apparate und Methoden des Verfassers. Leipzig, 1881.
[40]. О гидрометрическихъ работахъ въ Венгріи. (Пер.С.Н.Максимова статьи: J. Péch. Jaugeages en Hongrie. Paris 1898). Изв. Собр. И.П.С. 1899 г. № 6-7).
а также [12], [13], [29].

## КЪ ГЛАВѢ VI.

[41]. Инструкція для устройства створныхъ сѣченій - Гидрометр.Ч. въ Евр. Россіи.
[42]. В.Г.Глушковъ. Условія, какимъ должно удовлетворять расположеніе гидрометрическаго поста (Туркестанскій Мелиораціонный Бюллетень. 1914 г. №№ 2,3 и 4. Вѣрный).
[43]. Описаніе и чертежи оборудованія гидрометрическихъ постовъ, устанавливаемыхъ въ С.-А. Соед. Штатахъ. Пер. инж. И.Е.Скорнякова (Матеріалы, изд. Упр.Гидром.Части въ Евр.Росс., вып. 21) П. 1915.
а также [37], [6], [11].

## КЪ ГЛАВАМЪ VII, VIII и IX.

[44]. Инструкція для измѣренія расхода воды вертушкою - Гидрометр. Ч. въ Евр. Россіи. П.1915.
[45]. Инструкція для производства наблюденій надъ зимнимъ состояніемъ рѣки - Гидрометр.Ч. въ Евр.Россіи.П.1916.
а также [6], [12], [14], [37], [48], [48], [81].

## КЪ ГЛАВѢ X.

См. [6], [12], [34], [29], [77] т. 1.

## КЪ ГЛАВѢ XI.

[46]. Отчетъ Гидромодульной Части за 1913 годъ, ч. 1 и 2. М. 1914.
[47]. К.И.Игнатовъ, инж. Водомѣры для опредѣленія расхода воды въ родникахъ, ключахъ, ручьяхъ, дренажахъ и пр. М. 1914.
[48]. Д.И.Кочеринъ, инж. Матеріалы по воднымъ изысканіямъ въ Крыму, подъ ред. Г.В.Ѳедорова. Гидрометрическій Отд. Вып. 1 и 2. Симферополь, 1916.
[49]. А. Гельферъ, инж. Методы обработки наблюденій, добытыхъ систематич. изслѣд. на гидрометр.станціяхъ и на речныхъ постахъ при мельницахъ въ бассейнѣ р. Оки. (Труды Экспедиціи по изслѣд. источниковъ главнѣйшихъ рѣкъ Евр.Россіи). П. 1903.
[50]. H. Bazin. Expériences nouvelles sur l'écoulement en deversoir (Annales des Ponts et Chaussées, t.XVI, 1888).
[51] І.Г.Есьманъ, проф. Гидравлика. П. 1915.
а также [92], №150.

Измѣреніе расхода по способамъ смѣшенія изложено въ:
[52]. В.И.Вернадскій и А.О.Юрковъ. Матеріалы по вопросу о примѣненіи химическаго метода къ измѣренію расхода воды. П. 1914.
[53]. Они же. Измѣреніе расходовъ воды химическимъ методомъ. (Ежегодникъ С.П.В.Округа П.С. за 1913 г.).

[54]. А.М.Рундо, инж. О химическомъ методѣ измѣренія расхода воды (XIV съѣздъ рус. дѣятелей по вод.пут. 1912 г.).

[55]. С. Симаковъ. Опредѣленіе расхода воды источниковъ химическимъ способомъ въ Вѣрненскомъ уѣздѣ (Туркест.Мелиорац. Бюллетень за 1914 г. №1. Вѣрный).

[56]. Б.Чиковъ, инж. Методы геодезическихъ и гидрометрическихъ работъ, принятые при оросительныхъ изысканіяхъ въ Центр. части. Голодной Степи. (XV съѣздъ рус. дѣят. по вод.пут. 1913 г.)

КЪ ГЛАВѢ XII.

[57]. В.Г.Глушковъ, проф. Элементарная инструкція для построенія кривой расходовъ воды по точкамъ - Гидрометр. Ч. въ Евр. Россіи. П. 1915.

[58]. В.Г.Глушковъ. Къ вопросу о построеніи кривыхъ расходовъ воды и вообще эмпирическихъ кривыхъ вида $y = a(b+x)^m$ или $x = A + By^m$. (Матеріалы, изд. Гидрометр.Ч. въ Евр.Р., вып.25) П.1915.

[59]. В.В.Капелькинъ, инж. Методъ опредѣленія суточнаго расхода воды для рѣки при различныхъ уклонахъ (пер. изъ Water-Supply Paper N-345, 1914) Изв.Собр.Инж.П.С. за 1915 г. №20).

[60]. В.Г.Глушковъ, инж. Возможныя формы кривыхъ, выражающихъ зависимость величины площадей, скоростей и расходовъ водныхъ потоковъ отъ высоты стоянія горизонта воды. П. 1910. Изд. Инст. Инж. П.С.

[61]. В.Г.Глушковъ, инж. Графическое построеніе эмпирическихъ кривыхъ. [77], т. I.

[62]. К.А.Палицынъ, инж. Озеро Ильмень и рѣка Волховъ въ связи съ проектомъ шлюзованія и использованія энергіи паденія воды. (Матеріалы для изсл.р.рѣкъ и т.д. Вып.XXIX) П. 1912.

[63]. Н.Н.Максимовичъ, инж. О зависимости скоростей и расходовъ воды отъ высоты горизонта на рейкѣ, по наблюденіямъ на р. Днѣпрѣ (Труды V съѣзда р.дѣят. по в.п. въ 1898 г. ч. I). П. 1899.

[64]. Д.Д.Гнусинъ, инж. О результатахъ измѣренія расходовъ р.Волги у г. Самары (VIII съѣздъ р. дѣят. по в.п.) П. 1901.
а также [29]. [34],[37].

КЪ ГЛАВѢ XIII.

[65]. И. Архіепископовъ. Водомѣрные посты. Обзоръ существующихъ системъ и описаніе приборовъ для производства наблюденій на водомѣрныхъ постахъ. П. 1909-1910. (4 книжки) Изд. СПБ. Округа П.С.
[66]. Инструкція для выбора мѣста подъ водомѣрные посты - Гидрометр. Ч. въ Евр.Рос.
[67]. Инструкція для устройства простѣйшихъ типовъ водомѣрныхъ постовъ - Гидрометр. Ч. въ Евр.Рос.
[68]. Инструкціи для наблюденія за горизонтомъ воды - Гидрометр. Ч. въ Евр.Рос.
[69]. В.Г.Глушковъ, инж. Нѣкоторые способы, схемы и приборы въ области гидрометрическихъ изслѣдованій,[77] т.I.
[70]. В.Г.Глушковъ. Дифференціальная водомѣрная рейка. (Матеріалы, изд. Гидрометр.Ч. Евр.Рос., вып. 23). П.1916.
[71]. Е.Владычанскій. Минимальная и максимальная автоматическая рейка новой конструкціи (Бюллетень Гидрометр. Части въ Туркест.Краѣ за 1917 г. №6-7.)
[72]. А.И.фонъ Эссенъ. Статистическіе методы обработки гидрометрическихъ данныхъ. Тифлисъ. 1913.
[73]. В.Г.Глушковъ,проф. Къ вопросу о характеристикѣ режима рѣкъ вообще и уровня ихъ въ частности. П.1915.
а также [12 ]. [16]. [23]. [29]. [34]. [43]. [76] т. 1., [81] т. 1.

КЪ ГЛАВѢ XIV.

См. [6]. [34]. [79] т. 6., [88], а также:
[74]. Е.I.Москвитиновъ. Матеріалы работъ по опредѣленію степени точности измѣреній расходовъ на Сыръ-Дарьѣ въ 1915 г. (Бюллетень Гидрометр.Ч.въ Туркест.Краѣ за

1917 г. №6 - 7 и слѣд.) Ташкентъ.
[75]. O.Koll. Die Theorie der Beobachtungsfehler und die Methode der kleinsten Quadrate mit ihrer Anwendung auf die Geodäsie und die Wassermessungen, 2 изд. Berlin, 1901.

---

Отчеты о русскихъ гидрометрическихъ изслѣдованіяхъ, богатые цѣнными матеріалами, печатались въ спеціальныхъ изданіяхъ, какъ:

Матеріалы для изслѣдованія русскихъ рѣкъ и исторіи улучшенія ихъ судоходныхъ условій (Изд. Управленія Внутреннихъ Водныхъ Путей и Шоссейныхъ дорогъ) - [29], [34], [32] и др.

Свѣдѣнія объ уровнѣ воды на внутреннихъ водныхъ путяхъ Россійской Имперіи по наблюденіямъ на водомѣрныхъ постахъ, учрежденныхъ Министерствомъ Путей Сообщенія (по бассейнамъ морей, начиная съ 1891 года).

Отчеты Гидрометрической Части въ Туркестанскомъ Краѣ (Отдѣла Земельныхъ Улучшеній):

[76] за 1910 г., 2 тома, П. 1911.
[77] за 1911 г., 2 тома, П. 1912.
[78] за 1912 г., 7 томовъ, П. 1913.
[79] за 1913 г., 6 томовъ, П. 1915.
[80] за 1914 г., 5 томовъ, П. 1916-17.

Отчеты Гидрометрической Части при Водномъ Управленіи на Кавказѣ:

[81] за 1910-12 годы, 3 тома, Тифлисъ, 1913.
[82] за 1913 г. 2 тома, Тифлисъ, 1915.

Нѣкоторыя общія свѣдѣнія о гидрометрическихъ работахъ при гидротехническихъ изысканіяхъ помѣщены въ Ежегодникахъ Отдѣла Земельныхъ Улучшеній:

[83] за 1910 г. П. 1911.
[84] за 1911 г. П. 1912.
[85] за 1912 г. П. 1913.
[86] за 1913 г. въ 2 ч. П. 1914.
[87] за 1914 г. въ 2 ч. П. 1915.
[88] за 1915 г. въ 2 ч. П. 1917.

Еще не напечатанъ обширный отчетъ по изысканіямъ на р. Мургабѣ въ 1907-1909 гг. Краткія свѣдѣнія приведены лишь въ:

[89]. С. П. Максимовъ, инж. Общій отчетъ изысканій на р. Мургабѣ въ цѣляхъ изученія обезпеченности орошенія Мургабскаго Государева Имѣнія (Изд. Главн. Упр. Удѣловъ). П. 1914.

[90]. М. А. Лукашинъ. Докладъ о работахъ гидрометрической станціи „Ташъ-Кепри" на р. Мургабѣ въ 1907-9 гг. (XII съѣздъ р. дѣят. по в.п. П. 1910).

а также [21].

Французскія изслѣдованія, особенно въ области рѣчной гидравлики, помѣщены въ періодическомъ изданіи:

Annales des Ponts et Chaussées. Mémoires et Documents relatifs à l'Art des constructions et du Service l'Ingenieur. Paris.

напр. [40], [50]; кромѣ того работы инженеровъ E. Tavernier E. de la Brosse изложены въ отчетѣ:

[91]. Service d'études des grandes forces hydrauliques dans la région des Alpes. (Annales de Ministère de l'Agriculture) Paris 1905-1907.

Обширныя работы по гидрометріи, производимыя организаціею геологическихъ изслѣдованій С. Штатовъ С. Америки (United States Geological Survey) приводятся въ отчетахъ:

[92]. Water-Supply and Irrigation Paper (или просто Water-Supply Paper). Washington.

Методы работъ описаны въ выпускахъ 56, 94, 95, 150, 187 (см. [83]), 345 (см. [59]) и др.

---

Болѣе подробно литература по гидрометріи на многихъ европейскихъ языкахъ указана въ [12] и [16], на русскомъ - въ [6].

---

# ОГЛАВЛЕНІЕ.

Введеніе . . . . . . . . . . . . . . . . . стр. 1

ГЛАВА I. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЯ СВѢДѢНІЯ.

§ 1. Роль гидрометріи въ сельско-хозяйств. гидротехникѣ . . . . . . . . . . . . " 1.
§ 2. Задача гидрометріи въ рѣчной гидротехникѣ и дорожномъ строительствѣ . . . . . . " 2.
§ 3. Система настоящаго руководства . . . . . " 3.
§ 4. Методы опредѣленія расхода воды . . . . . " 3.

ГЛАВА II. ГИДРОМЕТРИЧЕСКІЕ ПРИБОРЫ.

§ 5. Типы гидрометрическихъ приборовъ . . . . . " 4.

А. ГИДРОМЕТРИЧЕСКІЯ ВЕРТУШКИ.

§ 6. Описаніе устройства вертушки Вольтмана . . . " 5.
§ 7. Употребленіе вертушки Вольтмана . . . . . " 7.
§ 8. Недостатки вертушки Вольтмана . . . . . " 7.
§ 9. Усовершенствованія вертушки . . . . . . " 8.
§ 10. Примѣненіе электрической сигнализаціи . . . " 10.
§ 11. Описаніе устройства вертушки Отта . . . . " 12.
§ 12. Употребленіе вертушки Отта . . . . . . . " 15.
§ 13. Вертушка на подвѣсной штангѣ . . . . . . " 17.
§ 14. Вертушка на троссѣ . . . . . . . . . . " 18.
§ 15. Вертушки съ вертикальною осью . . . . . . " 20.
§ 16. Интеграціонное приспособленіе . . . . . . " 22.
§ 17. Другіе типы вертушекъ . . . . . . . . . " 23.
§ 18. Нѣкоторыя новыя усовершенствованія . . . . " 23.
§ 19. Уходъ за вертушками . . . . . . . . . . " 26.
§ 20. Тарированіе вертушекъ. Устройство тарировочныхъ станцій . . . . . . . . . . . " 26.
§ 21. Тарированіе вертушекъ въ полевой обстановкѣ . " 30.
§ 22. Обработка тарировочныхъ данныхъ. Графич. методъ " 33.
§ 23. Аналитическіе методы . . . . . . . . . " 35.
§ 24. Пользованіе уравненіями вертуш. и тариров. крив. " 44.

## B. БАТОМЕТРЫ.

§ 25. Примѣненіе батометровъ для измѣренія скоростей стр. 47.
§ 26. Устройство батометра Глушкова . . . . . . . " 48.
§ 27. Употребленіе батометра Глушкова . . . . . . " 48.
§ 28. Тарировка батометровъ . . . . . . . . . " 49.

## C. ДИНАМОМЕТРЫ.

§ 29. Трубка Пито . . . . . . . . . . . . . " 50.
§ 30. Трубка Дарси . . . . . . . . . . . . " 51.
§ 31. Другіе типы трубокъ . . . . . . . . . " 52.
§ 32. Тарировка трубокъ . . . . . . . . . . " 53.
§ 33. Достоинства и недостатки трубокъ . . . . . " 54.
§ 34. Динамометры другихъ системъ . . . . . . . " 5

## D. ПОПЛАВКИ.

§ 35. Поверхностный поплавокъ . . . . . . . . . " 57.
§ 36. Глубинный и двойной поплавки . . . . . . " 58.
§ 37. Гидрометрическій шестъ . . . . . . . . . " 58.
§ 38. Поплавокъ-интеграторъ . . . . . . . . . " 60.

## ГЛАВА III. РАСПРЕДѢЛЕНІЕ СКОРОСТЕЙ ВЪ ЖИВОМЪ СѢЧЕНІИ.

§ 39. Изотахи . . . . . . . . . . . . . . " 63.
§ 40. Распредѣленіе скоростей по вертикали . . . . " 65.
§ 41. Средняя скорость по вертикали . . . . . . " 69.
§ 42. Распредѣленіе скоростей по горизонтали . . . " 73.
§ 43. Направленіе скоростей . . . . . . . . . " 73.
§ 44. Пульсація . . . . . . . . . . . . . . " 76.

## ГЛАВА IV. МЕТОДЫ ВЫЧИСЛЕНІЯ РАСХОДА ПО ИЗМѢРЕННЫМЪ СКОРОСТЯМЪ.

§ 45. Расходъ. Модель расхода . . . . . . . . . " 79.
§ 46. Элементы модели расхода . . . . . . . . . " 80.
§ 47. Подраздѣленіе методовъ опредѣленія объема
модели расхода . . . . . . . . . . . " 81.

§ 48. Первый методъ (Кульмана) . . . . . . . . . . стр. 82.
§ 49. Видоизмѣненный методъ Кульмана . . . . . . . " 85.
§ 50. Графическое опредѣленіе расхода по тахиграфической кривой Глушкова . . . . . . . " 86.
§ 51. Второй методъ . . . . . . . . . . . . . " 88.
§ 52. Графическое опредѣленіе расхода по методу Гарлахера . . . . . . . . . . . . " 89.
§ 53. Третій методъ . . . . . . . . . . . . " 93.
§ 54. Графическое опредѣленіе расхода примѣнительно къ третьему методу . . . . . . . . " 95.
§ 55. Упрощенные методы вычисленія расхода . . . " 95.
§ 56. Вычисленіе расхода по средней для всего живого сѣченія скорости . . . . . . . . " 100.
§ 57. Вычисленіе расхода по наибольшей поверхностной скорости . . . . . . . . . . . . " 103.
§ 58. Вычисленіе расхода по поверхностнымъ скоростямъ " 104.

## ГЛАВА V. МЕТОДЫ ИЗМѢРЕНІЯ СКОРОСТЕЙ.

§ 59. Измѣреніе скоростей по вертикалямъ . . . . " 106.
§ 60. Подраздѣленіе методовъ измѣренія скоростей по вертикали . . . . . . . . . . . . " 108
§ 61. Основной методъ измѣренія скоростей . . . . " 109.
§ 62. Приближенные методы . . . . . . . . . . " 111.
§ 63. Интеграціонный методъ . . . . . . . . . " 113.
§ 64. Детальный методъ . . . . . . . . . . . " 116.
§ 65. Методы измѣренія поверхностныхъ скоростей . . " 119.

## ГЛАВА VI. ВЫБОРЪ И ОБОРУДОВАНІЕ МѢСТА ДЛЯ ИЗМѢРЕНІЯ СКОРОСТЕЙ.

§ 66. Требованія, предъявляемыя къ мѣсту . . . . " 124.
§ 67. Элементы рѣчного русла . . . . . . . . " 125.
§ 68. Выборъ участка . . . . . . . . . . . . " 127.
§ 69. Выборъ створнаго сѣченія . . . . . . . . " 129.

§ 70. Направленіе створнаго сѣченія . . . . . стр. 130.
§ 71. Обозначеніе створнаго сѣченія . . . . . . " 133.
§ 72. Обозначеніе вертикалей . . . . . . . " 135.
§ 73. Приспособленія для измѣренія скоростей по вертикалямъ . . . . . . . . . . " 137.
§ 74. Выборъ мѣста для измѣреній поплавками . . " 144.
§ 75. Разстояніе между дополнительными створами . " 144.
§ 76. Обозначеніе створовъ при измѣреніяхъ поплавками . . . . . . . . . . . . " 147.
§ 77. Пусковой створъ и его оборудованіе . . . " 149.

## ГЛАВА VII. ИЗМѢРЕНІЕ ЖИВЫХЪ СѢЧЕНІЙ.

§ 78. Приборы для измѣренія глубинъ . . . . . . " 150.
§ 79. Производство промѣровъ поперечнаго сѣченія . " 151.
§ 80. Профиль поперечнаго сѣченія . . . . . . " 154
§ 81. Высота средняго дна . . . . . . . . " 155.
§ 82. Другіе способы промѣровъ . . . . . . . " 156.
§ 83. Особенности зимнихъ промѣровъ . . . . . " 157.

## ГЛАВА VIII. ИЗМѢРЕНІЕ СКОРОСТЕЙ ВЕРТУШКАМИ.

§ 84. Выборъ вертикалей . . . . . . . . . " 158.
§ 85. Продолжительность наблюденія . . . . . " 159.
§ 86. Производство измѣреній вертушкой . . . . " 162.

## ГЛАВА IX. ИЗМѢРЕНІЕ СКОРОСТЕЙ ПОВЕРХНОСТНЫМИ ПОПЛАВКАМИ.

§ 87. Измѣреніе наибольшей поверхностной скорости " 165.
§ 88. Распредѣленіе поплавковъ по ширинѣ рѣки . . " 166.
§ 89. Заготовленіе поплавковъ . . . . . . . " 167.
§ 90. Измѣреніе разстоянія между створами . . . " 167.
§ 91. Производство измѣреній поплавками . . . . " 169.

## ГЛАВА X. ОБРАБОТКА ИЗМѢРЕНІЙ.

§ 92. Вычисленіе расхода . . . . . . . . . . стр. 171.
§ 93. Приведеніе къ условному горизонту . . . . " 172.
§ 94. Исправленіе величины расхода . . . . . . " 173.
§ 95. Кривая среднихъ скоростей по вертикали . . " 174.

## ГЛАВА XI. ДРУГІЕ МЕТОДЫ ОПРЕДѢЛЕНІЯ РАСХОДА.

§ 96. Непосредственное измѣреніе расхода . . . " 174.
§ 97. Опредѣленіе расхода по высотѣ уровня и гидравлическимъ формуламъ. Водяные дюймы . . . . . . . . . . . . " 177.
§ 98. Водяные модуля . . . . . . . . . . . " 180.
§ 99. Измѣреніе расхода воды при посредствѣ водослива . . . . . . . . . . . . " 185.
§ 100. Измѣреніе расхода въ контрольномъ руслѣ или лоткѣ . . . . . . . . . . . " 189.
§ 101. Вычисленіе расхода по уклону и живому сѣченію . . . . . . . . . . . . " 190.
§ 102. Опредѣленіе коэффиціента шероховатости . . " 194.
§ 103. Вычисленіе расхода сухихъ руселъ . . . . " 194.
§ 104. Опредѣленіе расхода воды по способамъ смѣшенія . . . . . . . . . . . . " 195.

## ГЛАВА XII. ЗАВИСИМОСТЬ РАСХОДА ВОДЫ ОТЪ ИЗМѢНЕНІЙ ГОРИЗОНТА.

§ 105. Колебанія расхода по времени . . . . . " 198.
§ 106. Графическій методъ построенія кривой расхода . . . . . . . . . . . . " 199.
§ 107. Аналитическій методъ. Уравненія кривой расхода . . . . . . . . . . . . " 201.
§ 108. Построеніе кривой расхода при недостаточномъ числѣ измѣреній . . . . . . . " 209.
§ 109. Пользованіе кривою расхода . . . . . . " 212.
§ 110. Вліяніе продольнаго уклона на величину расхода . . . . . . . . . . . . " 213.
§ 111. Вліяніе леданого покрова . . . . . . " 215.

## ГЛАВА XIII. ВОДОМѢРНЫЯ НАБЛЮДЕНІЯ.


§ 112. Значеніе водомѣрныхъ наблюденій . . . . стр. 216.
§ 113. Типы водомѣрныхъ постовъ . . . . . . " 216.
§ 114. Реечные водомѣрные посты . . . . . . " 217.
§ 115. Свайные водомѣрные посты . . . . . . " 219.
§ 116. Мостовые водомѣрные посты . . . . . . " 221.
§ 117. Передаточные посты . . . . . . . . " 223.
§ 118. Поплавковая передача . . . . . . . " 224.
§ 119. Вѣсовая и дифференціальная передача . . " 226.
§ 120. Лимниграфы . . . . . . . . . . . " 227.
§ 121. Автоматическія рейки . . . . . . . " 229.
§ 122. Выборъ мѣста подъ водомѣрные посты . . . " 230.
§ 123. Створный водомѣрный постъ . . . . . . " 231.
§ 124. Уклонный водомѣрный постъ . . . . . . " 232.
§ 125. Зимнія водомѣрныя наблюденія . . . . . " 234.
§ 126. Обработка водомѣрныхъ наблюденій. Графическій методъ . . . . . . . . . " 234.
§ 127. Вычислительный методъ обработки водомѣрныхъ наблюденій . . . . . . . . " 237.


## ГЛАВА XIV. ТОЧНОСТЬ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХЪ ИЗМѢРЕНІЙ.


§ 128. Источники ошибокъ . . . . . . . . . " 239.
§ 129. Неточности при измѣреніи скоростей . . . " 240.
§ 130. Неточности при измѣреніи живого сѣченія . " 242.
§ 131. Неточности при вычисленіи расхода . . . " 243.
§ 132. Неточности водомѣрныхъ наблюденій . . . " 244.
§ 133. Неточности кривыхъ расхода . . . . . . " 244.

ПРИЛОЖЕНІЕ. ЛИТЕРАТУРА ПО ВОПРОСАМЪ, ЗАТРОНУТЫМЪ ВЪ РУКОВОДСТВѢ. . . . . " 245.

Оглавленіе . . . . . . . . . . . . . " 255.
Указатель именъ . . . . . . . . . . . " 261.
Предметный указатель . . . . . . . . . " 265.

## УКАЗАТЕЛЬ ИМЕНЪ.

Александровичъ, К.Р. инж. 248.
Альбрехтъ (Albrecht) баварск. 18,20,24,140,229.
Амслеръ-Лаффонъ (J.Amsler-Laffon,Dr.) швейц.проф. 8,9,10,11, 18,23,24,25,45,234.
Андерсонъ (Anderson) швед.проф. 62,128.
Архiепископовъ, Н.А., инж. 228,252.
Астровъ, А.Н., проф. 246.
Базенъ (H.Bazin) франц.инж. 104,182,183,191,193,250.
Барроусъ (Barrows, H.K.) америк.инж. 71,248.
Баумгартенъ (Baumgarten) франц. 9,36,86.
Бернадскiй, Б.М., инж. 250.
Близнякъ, Е.В., инж. 280.
Богуславскiй, Н.А., проф. 3.
Борнеманъ (Bornemann) герм. 178,180.
Брауеръ (E.Brauer) австр. 246.
Брашманъ (Braschmann) проф. 182.
Броуновъ, П.И., проф. 86, 125.
Брукъ (Brooke) америк. 151.
Брюнингсъ (Ch.Brünings) (1736-1805) голланд.гидрот. 55,56.
Вагнеръ (v.Wagner) герм. проф. 72, 105.
Васильевъ, В.А., инж. 193.
Вильямсъ (Williams) инж. 56,57.
Винчи (Leonardo da Vinci) (1452-1519) итал.ученый 65.
Владычанскiй, В.I., техн. 229, 252.
Вольтманъ (R.Woltman) (1757-1837) герм.гидрот. 5,6,7,9,36.
Гайосъ (S.Hajós) венгер.инж. 9,12,22,23,113,151,163,223.
Галилей (Galileo Galilei) (1564-1642) итал.ученый 55,65.
Гангилье (E.Ganguillet) швейц. инж. 191,192,193.
Ганзеръ (O.A.Ganser) австр.мех. 19,20,228.
Гарлахеръ (A.R.Harlacher) австр.проф. 10,12,17,22,82,86,89,92,99, 101,103,106,113,115,116,154,158,159,173,190,202,211,242, 248.
Гескелль (Haskell,E) америк. 9.
Гаслеръ (G.Hasler, Sohn) швейц.мех. 226.
Гауссъ (K.F.Gauss,Dr.) (1777-1855) герм.математ. 111,112.

Гельферъ, А., инж. 250.
Гизелеръ (Gieseler) герм. проф. 54.
Глушковъ, В.Г., проф. 37, 47, 48, 61, 79, 86, 105, 117, 121, 122, 163, 171, 190, 203, 210, 226, 232, 238, 245, 246, 247, 249, 251, 252.
Гаусинъ, Д.Д., инж. 252.
Грауэръ (Grover, N.C.) америк. инж. 70, 71, 72.
Грицукъ, А.В., инж. 201.
Дарси (H.Darcy) (1803-58) франц. инж. 51, 52, 224.
Дейка, А.Б., инж. 116.
Делаброссъ (B.de la Brosse) франц. инж. 254.
Дюпюи (Dupuit) франц. 231.
Есьманъ, І.Г., проф. 250.
Жуковскій, Н.Е., инж. 77, 101, 109, 118, 119, 131, 245, 248.
Зейбтъ (W.Seibt) герм. проф. 218, 228.
Игнатовъ, К.М., инж. 179, 250.
Кабео (Cabeo) (1585-1650) итал. проф. 59.
Капелькинъ, Н.В., инж. 247, 251.
Кастелли (B.Castelli) (1577-1644) итал. проф. 55, 66.
Колль (O.Koll) герм. проф. 253.
Коломійцовъ, Н.П. 248.
Коровинъ, А Е. 76, 248.
Кочеринъ, Д.И., инж. 250.
Крафтъ (Kraft & Sohn) австр. мех. 13.
Крыловъ, А.Н. инж. 246.
Кульманъ (C.Culmann)(1821-81) нѣм., цюрихск. проф. 82, 84, 85, 86, 8
108, 154, 158, 243.
Куттеръ (W.R.Kutter) швейц. инж. 191, 192, 193.
Кеннингемъ (Cunninghem, A.) англ. инж. 111, 113.
Лямейеръ (Lahmeyer) герм. 105.
Ланге, В.Н., инж. 247.
Лалявскій, Е.С., инж. 73, 76, 78, 246.
Лукашинъ, М.А., техн. 155, 254.
Лауда (E.Lauda) австр. инж. 77.
Максимовичъ, Н.Н., инж. 251.
Максимовъ, С.Е., инж. 249, 256.
Мангонъ (Hervé Mangon) франц. 175, 179, 160.
Мейнеке (Meinecke) швейц. инж. 55.
Мильнъ (Milne) англ. 177.

Моисеенко, С.Н., инж. 67,71,77,106,110,112,132,160,161,215,248.
Москвитиновъ, Н.І., инж. 252.
Мусселіусъ, М.М., инж. 77,160,161.
Мюллеръ(W.Müller) герм. инж. 246.
Оканъ (M.d'Ocagne) франц. 193.
Оппоновъ, Е.В., инж. 246.
Оттъ (A.Ott) баварск. мех. 10,11,12,13,15,17,19,22,23,25,32,34,43,
45,120,160,164,228,229.
Палицынъ, Н.А., инж. 215, 251.
Петтенкофферъ (Pettenkoffer) 222.
Пешъ (J.Pesch) венгер. инж. 249.
Пито (H.Pitot) (1695-1771) франц. инж. 50.
Понселе (J.V.Poncelet) (1788-1867) франц. инж. 161.
Прайсъ (Price, W.) америк. 20,21,24.
Прони (G.M.R.de Prony) (1755-1839) франц. инж. 72,104,165.
Реви (Revy) англ. 113.
Риттеръ (Ch.Ritter) фр. инж. 52,53.
Ришаръ (J.Richard) франц. мех. 227.
Рундо, А.И., инж. 151.
Рюльманъ (M.R.Rühlmann) герм. проф. 231.
Симаковъ, С. 251.
Скорняковъ, Е.Е., инж. 249.
Соколовъ, Н.Н., инж. 77,131,166,220,247.
Соловьевъ, С.М., проф. 8,246.
Стаутъ (Stout) америк. инж. 212, 213, 215.
Таверние (E.Taversier) франц. инж. 254.
Тейбертъ (Teubert) герм. 202.
Толкмиттъ (Tolkmitt) герм. проф. 231.
Томсонъ (J.Thomson) америк. проф. 184,185.
Томсонъ (E.Thomson) англ. ученый 151.
Тревиранъ (L.C.Treviranus) (1779-1864) герм. ученый 112.
Танникъ, Н.Д., проф. 245, 246.
Уилькоксъ (Willcocks, W.) англ. 206.
Фадѣевъ, инж. 221.
Фаргъ (M.Fargue) франц. инж. 126.
Фидманъ, А.Н., инж. 248.
Флиннъ (Flynn, P.J.) америк. инж. 193.
Франкъ (A.Frank) герм. 53,56,116,120.

Френсисъ (Francis, J.B.) америк. 59, 183.
Фридрихъ (A.Friedrich) австр. проф. 100, 110, 246.
Фроловъ, инж. 229, 230.
Фюссъ (R.Fuess) герм.мех. 218, 226.
Хагенъ (G.H.L.Hagen) (1797-1884) герм.66,72,105.
Хамфрисъ (Humphreys, C.S.) америк.инж.66.
Хойтъ (Hoyt, J.C.) америк. инж. 70,71,72.
Холль (Hall, M.E.) америк.инж., 213.
Хортонъ (Horton, R.E.) америк.инж. 71, 246.
Чарномскій, В.И., инж. 246.
Чиковъ, В.В., инж. 251.
Чиполетти (Cesare Cipoletti) итал. 184, 185, 186.
Шафаловичъ, А.Е., инж. 248.
Шези (A. de Chézy)(1718-1798) франц.инж.104,188,192,194,
202,210.
Шёнъ (J.G.von Schoen) австр.проф. 56.
Шмидтъ (M.Schmidt, Dr.) австр.проф.9,10,36,39,42,115.
Шокальскій, Ю.М., проф. 151.
Штехеръ (Stecher) герм.мех. 151.
Эбботъ (Abbot) америк. инж. 66.
Экманъ (W.Ekman) швед. 75.
Эпперъ (J.Epper, Dr.) швейц.инж. 17,18,21,27,246.
Эссенъ, А.М., инж. 252.
Юрковъ, А.С., лабор. 250.
Ясмундъ (R.Jasmund) герм.гидрол. 66, 67, 68,70,161,163,
172,246.

# ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ.

Батометръ-длительнаго наполненія 47 — батометръ Глушкова 48.
Боковой профиль 121.
Буекъ, бакенъ 133.
Вертикали-промѣрныя 153, скоростныя 158.
Вертушки: Альбрехта 20, Амслера-Лаффона 8, 10, 18, 23, Вольтмана 5, Ганзера 20, Гарлахера 22, Отте 12, 17, 19, 23, плавучая 23, Прайса 26, Экмана 75.
Водомѣрные посты: лимниграфный 227, мостовой 221, передаточный 223, простой 216, речной 217, свайно-речной 213, свайный 219, створный 231, уклонный 232.
Водомѣрныя наблюденія 216, 234.
Водомѣръ-Мгнавина 179, Мильна 177.
Водосливъ 185, прямоугольный 182, треугольный 184, Чиполетти 164.
Водяной-дюймъ 177, модуль 180, отвѣсокъ 222.
Высота средняя дна 155.
Вычисленіе расхода-аналит. 81, 85, 88, 93, 95, 100, 103, 104. графич. 86, 88, 95, по уклону и жив. сѣч. 199.
Гидравлическій радіусъ 190.
Гидрогеологія 1.
Гидрологія 1, гидрологическій годъ 235.
Гидрометеорологія 1.
Гидрометрія 1, гидрометрическое ведро 130, маятникъ 55, мостикъ 187, приборы 4, тросъ Вильямса 56, шестъ 58.
Горизонтъ-абсолютно-наивысшій 239, пониженный 239, средній 235, условный 155, 172.
Графикъ - колебанія горизонта 235, колебанія расхода 198, скоростей (распред. скоростей по вертикали) 86, 89.
Декада 188. Дальноизвѣститель 217.
Двойной-измѣрительный ящикъ 176, профиль 126.
Динамометры 50, Мейнке 57.
Живое сѣченіе 63.
Законъ Фарга 126.
Измѣреніе расхода - въ контрольномъ руслѣ 189, въ лоткѣ 189, непосредственное 174, черезъ водосливъ 185, на плотинахъ 187.

Измѣрительный ящикъ 176, 187.
Изобаты 126. Изотахи 63, 81.
Интеграціонное-измѣреніе скоростей 113,120, приспособленіе 22.
Калибровка 179.
Контактъ донный 18, закрытый 24, магнитный 25.
Контрольное русло 189.
Косые галсы 157, створы 126.
Коэффиціентъ-переходный къ средн.скорости 71,104,105,106, пересоставности 193,194.
Кривая - нормальныхъ расходовъ 210, площадей 209, повторяемости горизонтовъ 235, продолжительности стоянія горизонтовъ (покрытія) 235, расходе 199, расхода нормальная 214, соотвѣтств. горизонтовъ 222, среднихъ скоростей 210, среднихъ скоростей по вертикали 174, тарировочная 33,44.
Ледомѣрная рейка 158.
Лимниграмма 235, лимниграфъ 227.
Лимнологія 1.
Линіи равныхъ элементарн. расходовъ 131.
Лопасти-алюминіевыя 28, геликоидальныя 9, параболическія 9, плоскія 5.
Лотокъ 166.
Лотъ 150.
Люлька 187.
Мареографъ 217.
Методы вычисленія расхода 81, Гарлахера 89, Жуковскаго 101, Кульмана 82, 89.
Методы измѣренія скоростей: детально-интеграціонный 119, детальный 118, 120, интеграціонный 113,120, основной 109,119, суммарный 117.
Модель расхода 80.
Нивелировка 150.
Нуль поста 210.
Обработка - водомѣрныхъ наблюденій 234,237, тарировочныхъ данныхъ 36.
Океанологія 1.
Опредѣленіе расхода воды - методы 3, по способамъ смѣшенія 195.
Ось потока - динамическая 77, геометрическая 127, фарватеръ 127
Передача - вѣсовая 226, гидравлическая 223, дифференціальная

228, механическая 229, пневматическая 222, поплавковая 224, электрическая 223.
Перекатъ 126.
Подводный-парусъ 123, периметръ 191.
Понтонъ 140.
Поплавокъ - глубинный 58, двойной 58, интеграторъ 60, поверхностный 57.
Поправки Стаута 212.
Потамологія 1.
Приборъ Петтенкоффера 222, Соколова 220.
Продольники 156.
Промѣрные аппараты 151, вертушки 153.
Промѣры - по косымъ галсамъ 157, по поперечникамъ 152, по продольникамъ 156.
Профилографъ 151.
Рамка водосливная 186.
Расходъ 79, нормальный 210, фиктивный 106, элементарный 89.
Рейка: автоматическая 229, выдвижная 223, вѣсовая 226, горизонтальная 222, дифференціальная 226, ледомѣрная 158, лежачая 218, наклонная 218, нивеллирная 150, нормальная 218, Соколова 220, съ крючкомъ 219, цѣпная 221.
Рѣчной квадрантъ 55.
Секундомѣръ 15.
Сигнализація - акустическая 11, электрическая 10.
Способы опредѣленія расхода: колориметрическій 198, термическій 197, химическій 195, электрохимическій 196.
Среднее дно 155, средняя скорость по вертикали 69, фиктивная скорость по вертикали 101, всего живого сѣченія 100.
Створное сѣченіе 129, 130, 133, 134.
Створы: главный 144, дополнительные 144, косые 136, прибрежные 146, пусковой 149.
Стрежень 77.
Тарировка - батометровъ 49, вертушекъ 28, водосливовъ и др. 179, въ полевой обстановкѣ 30, трубокъ 53, поплавка - интегратора 61.
Тарировочный бакъ 176, кривая 33, 44, станція 26.
Тахиграфическая кривая Глушкова 66.
Тахометръ Бринигса 55.

Трубка – Дарси 51, Пито 50, Риттера 52, Франка 53, 120.
Указатель обратнаго вращенія 25.
Уравненіе – вертушки 35, 44, кривой расхода 201.
Фарватеръ 127.
Флювіографъ Нёка 56.
Флюгеръ-американскій 74, Лелявскаго 74, Экмана 75.
Футштокъ 150, 217.
Хронографъ 12, 22, хроноскопъ 15.
Центральная вѣха 148.
Цѣна оборота вертушки 7.
Чувствительность вертушки 7.
Штанга для вертушекъ 13, горизонтальная, 19, подвѣсная 17.
Штангодержатель 17.
Щитъ – водосливъ 185, поплавокъ 62.
Эпюра – поверхностныхъ скоростей 106, скоростей (распред. скоростей по горизонтали) 73, 81, среднихъ скоростей 90, фиктивныхъ средн. скоростей 102, фикт. элемент. расходовъ 106, элементарныхъ расходовъ 89.

## ЗАМѢЧЕННЫЯ ОПЕЧАТКИ И НЕТОЧНОСТИ.

| Стр. | Строка | напечатано: | должно быть: |
|---|---|---|---|
| 5 | 13 сверху | § 5 | § 6 |
| 16 | 2 " | не-лету | на-лету. |
| 39 | 2 снизу | [n] β | [n'] β |
| 55 | 5 " | Брюнинга | Брюнингса |
| 56 | черт. 67 b | " | " |
| 124 | 9 снизу | § 55 | § 66 |
| 189 | 10 сверху | ускуственныхъ | искусственныхъ |